



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ŠNEKOVÉHO SOUKOLÍ
Z PLASTU**

TECHNOLOGY DESIGN MANUFACTURING PLASTIC WORM GEAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Petrucha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohumil Kandus

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Roman Petrucha**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Bohumil Kandus**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technologie výroby šnekového soukolí z plastu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Šnekové soukolí může přenášet značný výkon při velkém převodovém poměru. Na rozdíl od kovových materiálů umožňuje použití plastů u šneku a šnekového kola snížit výrobní i provozní náklady tohoto ozubeného soukolí. Na základě zadané geometrie šnekového soukolí, tvaru a materiálu dvoudílného plastového šneku vypracovat rešerši na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy pro šnek včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na dvoudílný šnek z plastu podložený kontrolními výpočty a doplněný technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. ISBN DT 678.5(075.8).

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-8622-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

PETRUCHA Roman: Návrh technologie výroby šnekového soukolí z plastu

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu dvoudílného plastového šneku, který je součástí šnekového soukolí uloženého v objímce. Z počátku byl proveden rozbor zadané součásti s upřesněním její funkce a stanovením kritérií, které musí daná součást splňovat. Dále byl proveden návrh technologie výroby (vstřikování) s následným teoretickým rozбором plastových materiálů, technologie vstřikování a konstrukcí forem. Následně v praktické části byl proveden kompletní návrh vstřikovací formy na základě provedených simulací a technologických výpočtů. Na základě parametrů vstřikovací formy byl vybrán stroj, na kterém by měla být výroba prováděna podle navrhovaného technologického postupu. Závěr práce obsahuje technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie na výrobu výstřiků zadané součásti.

Klíčová slova: vstřikovací forma, termoplasty, vstřikovací stroje, simulační analýzy.

ABSTRACT

PETRUCHA Roman: Technology design manufacturing plastic worm gear

The master thesis deals with the design of the injection mold for the production of a plastic two-part worm which is part of the worm gear set in the sleeve. From the beginning, an analysis of the assigned component was performed, specifying its function and specifying the criteria that must be met by the component. In addition, design of the production technology (injection molding) was carried out, followed by theoretical analysis of plastic materials, injection molding technology and mold design. Subsequently, in the practical part, a complete design of the injection mold was made on the basis of simulations and technological calculations. On the basis of the parameters of the injection mold, a machine was chosen, on which production should be carried out according to the proposed technological procedure. The conclusion of the thesis contains a technical and economic evaluation of the proposed technology for the production of Plastics splatter component

Keywords: injection mold, thermoplastics, injection machines, simulation analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETRUCHA, Roman. *Návrh technologie výroby šnekového soukolí z plastu*. Brno, 2017. 59 s, 8 výkresů, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji rodině a přátelům za podporu během studia.

Roman Petrucha

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI	11
1.1. Varianty výroby	12
2 PLASTY	15
2.1 Základní rozdělení plastů	15
2.2 Výroba plastů	17
2.3 Vlastnosti plastů	19
2.4 Přísady do polymerů	22
2.5 Volba materiálu	24
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	25
3.1 Speciální technologie vstřikování termoplastů	25
3.2 Vstřikovací cyklus	27
3.3 Vstřikovací forma	30
3.4 Vstřikovací stroje	37
4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	38
4.1 Základní prvky formy	38
4.2 Výpočet technologických parametrů formy	39
4.3 Konstrukce vstřikovací formy	44
4.3.1 Základní rám	44
4.3.2 Tvarové vložky dutiny formy	45
4.3.3 Horká vtoková soustava	46
4.3.4 Návrh temperačního systému	47
4.3.5 Vyhazovací systém	49
4.3.6 Návrh odvzdušnění	50
4.3.7 Doplnkové a manipulační prvky formy	51
4.4 Simulační analýzy	52
4.5 Volba vstřikovacího stroje	53
4.6 Technologický postup výroby	54

5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
5.1	Přímé náklady	55
5.2	Nepřímé náklady.....	57
5.3	Celkové výrobní náklady a zisk.....	57
	ZÁVĚRY	59

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků a tabulek

Seznam příloh a výkresů

ÚVOD [15], [22], [46]

Rozvoj výroby a vývoje polymerních materiálů začal v první polovině 20. století, od té doby proběhl značný pokrok při výrobě plastových výrobků (viz obr. 1) jakýchkoliv tvarů a velikostí, se kterými se v průběhu let od objevení polymerních materiálů, setkáváme čím dál častěji.

Obecně lze říci, že plastové výrobky se stávají levnou náhradou podobných výrobků z odlišných materiálů, jako například (ne)kovy, sklo, dřevo a přírodní tkaniny. Plastové výrobky v dnešní době nemají téměř žádné limity, co se týče složitosti a dokážou tak velmi dobře nahradit například použití hned několika kovových součástí, jediným plastovým výrobkem, což má za následek především snížení hmotnosti a výrobních časů.

Plasty jako polotovary, lze zpracovávat mnoha výrobními technologiemi. Nejrozšířenějším typem zpracování je technologie vstřikování plastů, spolu se všemi progresivními modifikacemi, jenž v průběhu let tato technologie procházela.

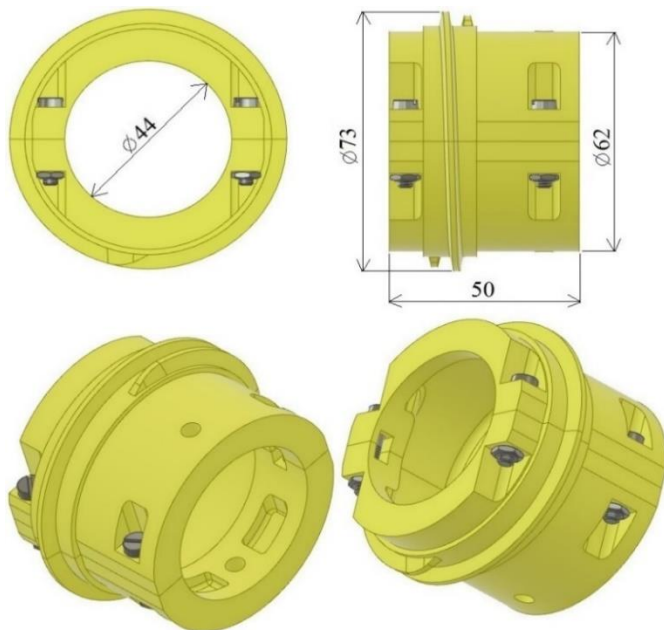
Každý plastový výrobek, vyrobený technologií vstřikování plastů, má svůj vlastní výrobní nástroj – vstřikovací formu, které se může skládat i s několika stovkami součástí v závislosti na složitosti plastového výstřiku a násobnosti formy. Proto kvalitní vstřikovací forma pro složitý výstřik není levnou a jednoduchou záležitostí a je žádoucí, aby měl výsledný produkt velkou výrobní sérii, která zajistí jeho nízkou cenu za jeden vyrobený kus.



Obrázek 1: Plastové výrobky [32]

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [48]

Zadanou součástí je dvoudílný šnek (viz obr. 2), který je součástí šnekového soukolí (viz obr. 3) v uzavřené dvoudílné objímce, stažené dvěma šrouby. Celá sestava (viz příloha 1), byla součástí mechanického počítadla na pracovních strojích, sestava byla umístěna na hřídeli, jejíž provedení neumožnilo axiální nasazení šneku, tudíž nemohl být vyroben jako jednodílná součást. Předpokládaná celková produkce činí 70 tisíc kusů šneků (tzn. 140tis. polovin), doba výroby šneku by neměla přesáhnout 2 měsíce po zahájení sériové výroby.



Obrázek 2: Zadaná součást

samozřejmostí je odolnost proti korozi. Obecně lze říci, že šnekové soukolí umožňuje přenášet vysoké výkony a krouticí momenty, nicméně v případě použití polymerních materiálů pro jejich výrobu, slouží především k přenášení kinematiky daného mechanismu stroje. Jelikož není v tomhle případě velký nárok na přenášení velkých výkonů, tak šnek i šnekové kolo jsou válcového typu, což zajišťuje snadnější vyrobitelnost. Dále se pak otáčky šnekového kola přenášeli přes pero na mechanické počítadlo. Hlavní parametr šnekového soukolí je jeho převodový poměr, který je vypočítán následující rovnicí:

$$i = \frac{f_2}{f_1} [-] \quad (1.1)$$

kde: f_1 – frekvence otáček šnekového kola [min^{-1}],

f_2 – frekvence otáček šneku [min^{-1}].

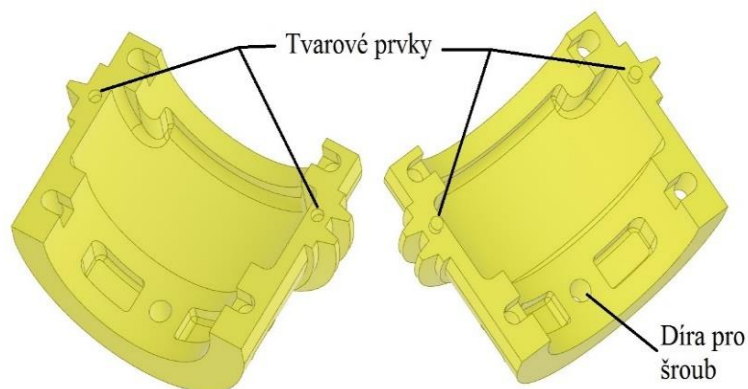
$$i = \frac{10}{1} = 10 [-]$$

Konstrukce šnekového soukolí byla provedena na základě proporčních možností hnané hřídele pracovního stroje, kde šnek měl radiálně zajištěnou polohu pomocí šroubu, jehož hrot zasahoval do drážky hřídele a byl umístěn v díře v jedné polovině šneku. Vzdálenost os ozubených kol je 44 mm.



Obrázek 3: Šnekové soukolí

Geometrie jednotlivých částí dvoudílného šneku se nepatrně liší, prvním rozlišujícím znakem je stoupání šroubovice, další odlišnosti souvisí s ustanovení přesné polohy obou součástí vůči sobě. Vzhledem k tomu že jsou obě části spojeny šrouby, které nevymezují dostatečnou přesnost, tak se přesné ustanovení polohy provádí pomocí středících (tvarových) prvků (viz obr. 4). Jedná se o kolíky na jedné polovině a přesné díry na druhé polovině šneku.



Obrázek 4: Tvarová odlišnost polovin šneku

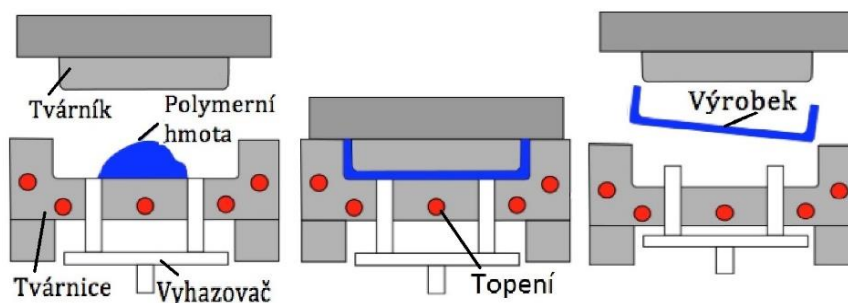
1.1. Varianty výroby [3], [16], [23], [25], [37], [46]

Technologie zpracování plastů umožňuje vyrobit v dnešní době téměř jakoukoli tvarově složitou součást v závislosti na použitém polymerním materiálu a daném výrobním procesu. Výrobní metoda je především určována dle tvaru zadané součásti, druhu polymerního materiálu, geometrické přesnosti a požadované výrobní kapacity. Technologii zpracování plastu lze v podstatě rozdělit na dva základní úseky zpracování, tvarovací a tvářecí. Tvarovací technologie je způsob zpracování plastů při níž plastový polotovár mění svůj tvar bez velkého přemísťování částic, tvářecí technologie se liší zejména ve značném přemísťování částic základního polymerního materiálu.

Tato podkapitola zahrnuje přehled a stručný popis pouze výrobních technologií, které jsou schopny vyrobit zadanou součást z polymerního materiálu, jedná se pouze o úsek tvářecích metod technologie zpracování plastů. Následně bude vybrána nejvhodnější na základě technologických možností dané metody, rozhodující faktory pro volbu výrobní technologie jsou výrobní čas dané série a přesnost zhotoveného dílce.

- Lisování plastů

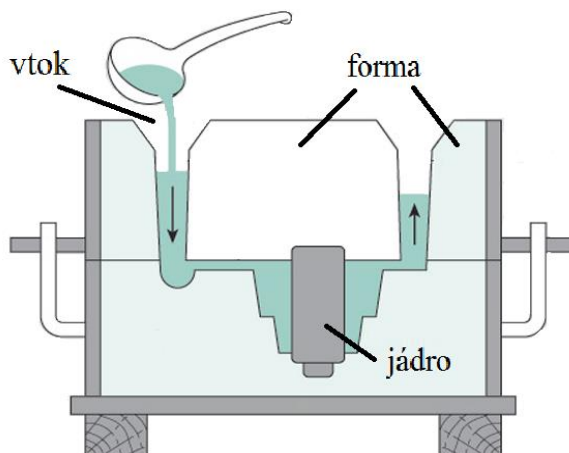
Technologie lisování plastů patří mezi první metody používané při výrobě plastových součástí. Výrobní princip současti spočívá naplnění dutiny nástroje polymerní hmotou ve formě prášku nebo tablety o přesně stanoveném objemu, následně vlivem teploty nástroje dojde k plastikaci a spolu s tlakem tvárníku dochází ke zhotovení současti (viz obr. 4). Po vytvarování současti dochází ke chladnutí a vytvrzení daného dílce. Pracovní teploty liší v závislosti na použitém polymerním materiálu, pohybují se v rozmezí od 130 do 190 °C. Lisováním se převážně zhotovují dílce z reaktoplastů. Tuhle technologií se vyrábí spíše rozměrově jednodušší současti, velkou nevýhodou je delší výrobní čas dílce a jeho rozměrová přesnost.



Obrázek 5: Lisování plastů [25]

- Odlévání plastů

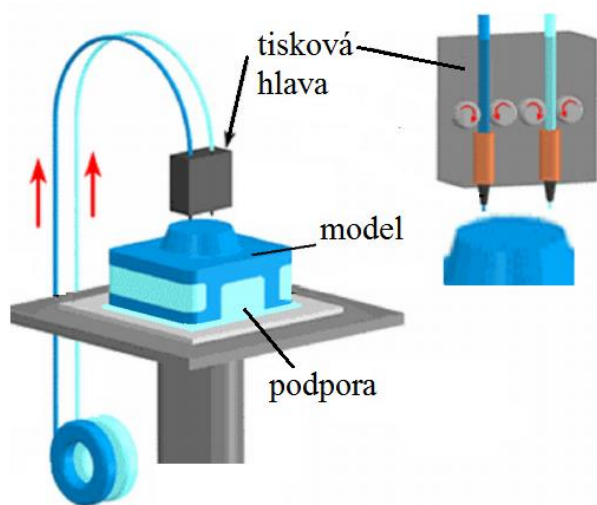
Výroba plastových součástí odléváním, nejčastěji gravitačním, popřípadě rotačním a odstředivým litím je jedním z technologicky nejjednodušších způsobů výroby plastových dílců. Jednoduchost metody v případě gravitačního lití spočívá v tom, že není zapotřebí působit tlakových namáháním při výrobním procesu, neboť zde působí pouze hydrostatický tlak. Důsledkem toho je zapotřebí, aby měla roztavená polymerní hmota velmi dobrou tekutost a viskozitu, aby zaplnila celou dutinu formy. Výhodou téhle metody je nízká pořizovací cena formy pro odlévání a obvykle nízký odpad. Nevýhoda spočívá ve dlouhém výrobním cyklu součásti, rozměrové přesnosti vyráběných dílců a omezeném sortimentu používaných druhů polymerních materiálů.



Obrázek 6: Gravitační odlévání plastů [22]

- 3D tisk technologií FDM

Tahle konkrétní technologie 3D tisku je založena na postupném tavném nanášení vrstev termoplastického materiálu, který je veden skrze vyhřívanou tiskovou hlavu. Každá nanesená



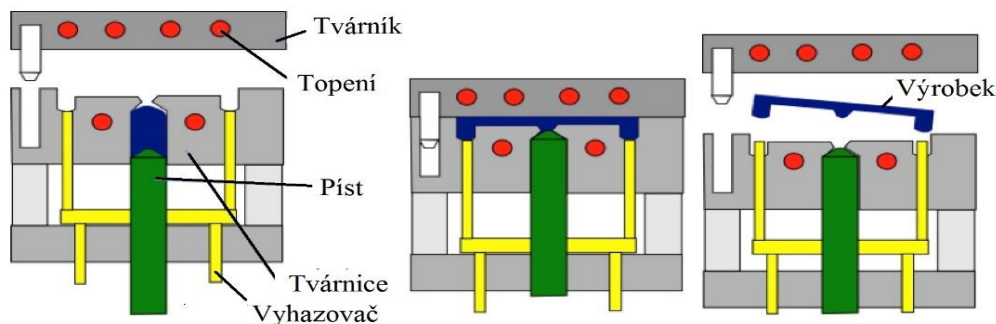
Obrázek 7: FDM 3D tisk [3]

vrstva tuhne a spojí se s předešlou vrstvou. Výsledný produkt se obvykle skládá ze dvou nanášených materiálů, první je označen jako modelovací a slouží k samotné výrobě dílce a druhý je nazýván podpurným materiálem, který vytváří pouze oporu při výrobě součásti tam, kde by hrozilo zhroucení či zdeformování dílce v průběhu procesu výroby. Podpurný materiál se po dokončení tisku se odstraní. Obecně technologie 3D tisku je ideální využít při výrobě kusových součástí a prototypových dílů, kde je zapotřebí ověřit funkčnost navrženého dílce. Oproti jiným technologiím 3D tisku, je tahle metoda jednodušší a levnější z hlediska pořizovací ceny 3D tiskárny i tisknutého

materiálu. Velkou nevýhodou 3D tiskáren je potřebný čas na vytištění součásti dle výchozího 3D modelu, výrobní nepřesnost metody a hrubost, kterou způsobují jednotlivé nanášené vrstvy. Odpad vzniklý při výrobě bývá obvykle minimální a jedná se pouze o materiál, který slouží jako podpora.

- Přetlačování plastů

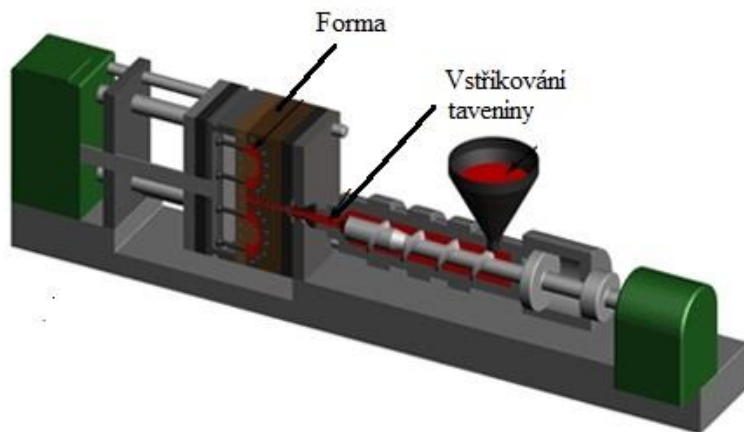
Přetlačovací způsob výroby součástí se liší od jednoduchého lisování především tím, že je lisovaná hmota nejdříve vložena do vyhřívané přetlačovací komory lisovací formy, kde je převedena do plastického stavu a při působení pístu je vtlačena do dutiny vytápěné formy skrze rozváděcí kanálky, kde získává konečný tvar (viz obr. 8). Tahle metoda je převážně využívána pro součásti vyráběné z reaktoplastů, rovněž je vhodnější než klasická metoda lisování pro výrobky složitějších tvarů. Výrobní způsob součástí přetlačováním se od lisování dále liší zejména absencí přetoků, delším výrobním cyklem a nutností rozváděcích kanálků, které navyšují objem vstupního polotovaru. Tahle metoda je vhodná i pro vícenásobnou formu.



Obrázek 8: Přetlačování plastů [25]

- Vstřikování plastů

Podstatou téhle výrobní technologie je vstřikování taveniny plastového materiálu do dutiny formy při stanoveném tlaku, následném tunutí a vyhození výrobku z formy (viz obr. 9). Jedná se o velmi produktivní výrobní technologii, kde je dosahováno vysokých přesností vyráběných dílců při krátkém pracovním cyklu. Vyrobení dílec obvykle není nutno dále opracovávat a touthle technologií lze vyrobit i geometricky velmi složité a rozměrné součásti. Tato technologie nahází využití především ve velkých sériích vyráběných dílců, jelikož pořizovací cena formy je obvykle značně vysoká v závislosti na složitosti a velikosti vstřikovaného dílece.



Obrázek 9 Vstřikování plastů [42]

Jako nejvhodnější výrobní technologie pro zadanou součást, s danou přesností a velikostí požadované série je zvoleno vstřikování plastů. Tahle technologie nejlépe splnila všechny požadavky týkající se rozměrové přesnosti a rychlosti výroby dané série. Volba výrobní metody závisí i na druhu zpracovávaného polotovaru, v tomto případě se jedná o použití termoplastů namísto reaktoplastů a to z hlediska důvodů popsanych v následující kapitole, kde bude určen i konkrétní termoplastický materiál pro výrobu zadané součásti.

2 PLASTY [17], [46]

Plasty jsou obecně makromolekulární látky organického nebo syntetického původu s dalšími aditivními prvky. Počet existujících druhů plastů se odhaduje na několik tisíc, ale tohle číslo nemusí být konečné, jelikož se neustále vyvíjí nové polymery, případně se modifikují známé durhy. V praxi se nejčastěji využívá jen nepatrná část z celkového počtu, jedná se o přibližně několik desítek typů. Vlastnosti plastů jsou především dány chemickým složením základní složky polymeru a případnými aditivními prvky ve formě přísad.

Mezi hlavní výhody plastů patří jejich celkový rozsah použitelnost, která zasahuje do každého odvětví průmyslu. Další nespornou výhodou využití plastů spočívá v jejich nízké pořizovací ceně u většiny typů ve srovnání například s kovovými výrobky.

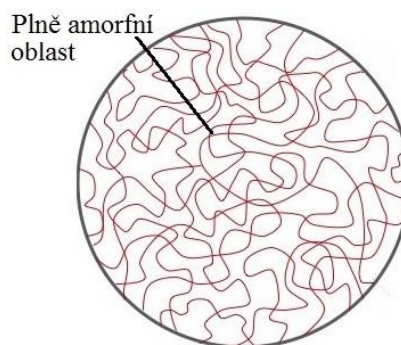
2.1 Základní rozdělení plastů [17], [21], [23], [24], [33], [38]

Plasty mohou být řazeny dle mnoho způsobů. Mezi jedny z nejpoužívanějších patří následující.

- Rozdělení dle uspořádanosti makromolekul

- Amorfní

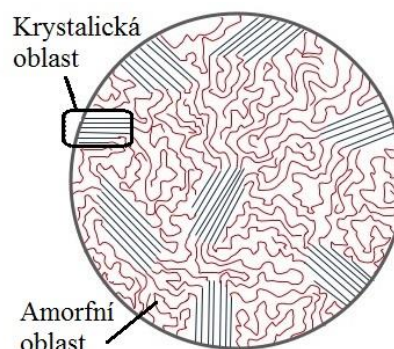
Za amorfní plast je považován obecně ten, který má pouze neuspořádanou tzv. chaotickou makromolekulární strukturu. Základ této struktury tvoří tzv. globule neboli klubíčka, které jsou vytvořeny ze stočených makromolekul (viz obr. 10). Výhodou amorfních polymerů je minimální smrštění (0,3 až 0,8 %) a dobrá houževnatost. U amorfních plastů obecně platí, že smrštění podél toku taveniny je větší než ve směru kolmo na tok taveniny. Mezi nejběžnější amorfní typy plastů řadíme například PVC, ABS, PS a PC.



Obrázek 10 Amorfní uspořádání makromolekul [33]

- Semikrystalické

Hlavním znakem semikrystalických typu plastů je schopnost vytvářet shluky lamel při tuhnutí taveniny (viz obr. 11). V podstatě se jedná o krystalizaci taveniny, která probíhá do určitého procenta polymeru (až 90 % obj.), není totiž technologicky možné dosáhnout dokonale krystalizace. Vlastnosti tohoto typu polymeru závisí na stupni krystalizace, čím je vyšší tím hustota, pevnost a tvrdost polymeru vlivem těsnějšího uspořádání makromolekul. Naopak dochází ke snížení tažnosti a houževnatosti. Velikost smrštění je větší než u amorfních plastů (1 až 3,5 %), jehož velikost lze ovlivnit rychlostí ochlazování – čím vyšší rychlost tuhnutí, tím nižší smrštění a naopak. Za semikrystalické typy plastů lze považovat například PET, POM, PP a PE.



Obrázek 11 Semikrystalické uspořádání makromolekul [33]

- Rozdělení dle tvaru makromolekul

- Lineární

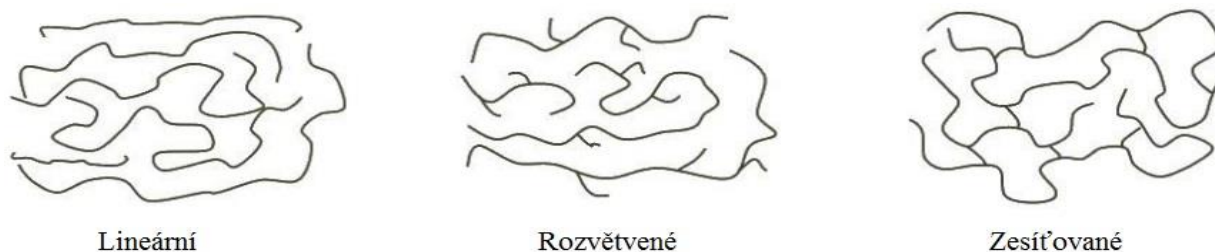
Makromolekuly tohoto typu vznikají řazením monomerních molekul vedle sebe (viz obr. 12). Lineární uspořádání makromolekul umožňuje bližší přiblížení jednotlivých řetězců, což má za následek vyšší hustotu polymeru a vyznačují se dobrou zpracovatelností taveniny i houževnatostí v tuhém stavu.

- Rozvětvené

Vznikají navázáním krátkých bočních větví na základní řetězec makromolekul (viz obr. 12). Jejich navázání způsobí zhoršení tekutosti taveniny a dále způsobuje oddálení základních makromolekulárních řetězců, což má za následek snížení hustoty a pokles mechanických vlastností polymeru.

- Zesíťované

Tenhle tvar makromolekul vzniká spojením lineárních řetězců na různých místech chemickými vazbami (viz obr. 12). Vlastnosti závisí na hustotě zesíťování. Čím je větší, tím ztrácí celek pohyblivost a tavitelnost, rovněž klesá houževnatost a tažnost. Naopak roste tvrdost, pevnost a teplotní odolnost.



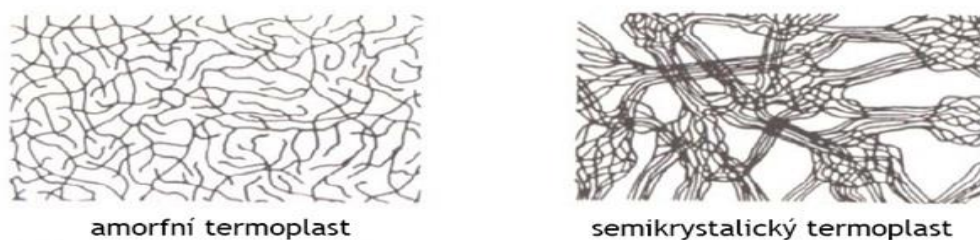
Obrázek 12 Tvary řetězců makromolekul [33]

- Rozdělení na základě teplotního chování

Tenhle typ rozdělení je nejvýznamnější pro určení vhodné výrobní technologie pro zvolený plast, rovněž dle tohoto rozdělení lze určit oblast použití, zvláště při zvýšených teplotních pracovních podmínkách.

- Termoplasty

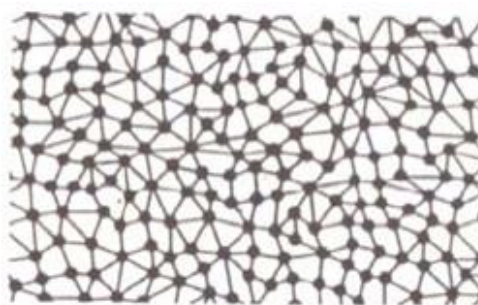
Jedná se o typ polymerů, jejichž charakteristickým znakem opakovaná změna tvaru za zahřátím a působení vnějších sil. Termoplasty přeházejí působením tepla do plastického až velmi viskózního stavu, kdy je lze snadno zpracovávat do požadovaných tvarů různými technologiemi. Při opakovaném zahřívání nedochází ke změně chemické struktury, tudíž je lze opakovaně zpracovávat. Termoplasty mohou být jak amorfního, tak semikrystalického typu (viz obr. 13). Běžně využívané termoplasty jsou uvedeny v tabulce 1.



Obrázek 13 Makromolekulární uspořádání termoplastů [33]

○ Reaktoplasty

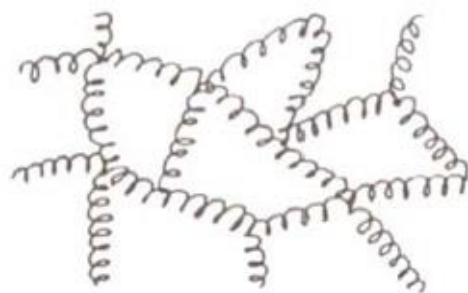
Jejich hlavní odlišnost od termoplastů spočívá v omezené tvářitelnosti při zahřátí. Jedná se o typ polymerů charakteristické pevně zesíťovanými řetězci (viz obr. 14), které vznikají v určitém stádiu jejich zahřátí. Vytvoření pevně zesíťované struktury je nevratný proces, jenž se nazývá vytvrzování. V praxi se využívají pro součásti namáhané staticky a za vyšších teplot. Jejich nevýhodou je nízká rázová a vrubová houževnatost, což způsobuje jejich křehkost. Nejčastější typy jsou uvedeny v tabulce 1.



Obrázek 14 Struktura reaktoplastů [33]

○ Elastomery

Charakteristickou vlastností je jejich elasticita při zatížení spolu s nevykazujícím porušení. Elastomery jsou charakteristické omezenou dobou tvářitelnosti při zahřátí, jelikož při delší době působení tepla ztrácí materiál elastické vlastnosti vlivem vytvoření zesíťované struktury. Na rozdíl od reaktoplastů mají řidší strukturu (viz obr. 15). Obvykle využívané typy elastomerů jsou uvedeny v tabulce 1.



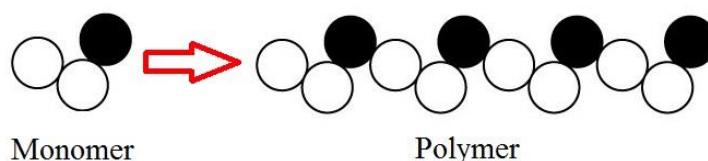
Obrázek 15 Struktura elastomerů [33]

Tab. 1 Základní typy plastů. [23]

Termoplasty		Reaktoplasty		Elastomery	
PE	Polyetylen	EP	Epoxidová pryskyřice	NR	Přírodní kaučuk
PP	Polypropylen	UP	Polyesterová pr.	IR	Izoprenový k.
POM	Polyoxyetylen	PF	Fenol-formaldehydová pr.	CR	Chloroprenový k.
PS	Polystyren	PUR	Polyuretan	ACM	Akrylátový k.
PA	Polyamid	MF	Melamin-formaldehydové pr.	BR	Butadienový k.

2.2 Výroba plastů

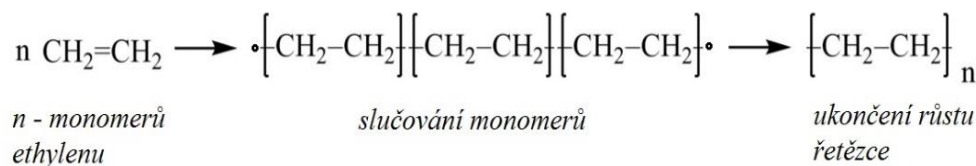
Plast jako technický materiál vzniká smísením základního polymerního materiálu s vhodnými přísadami, které především zlepšují jeho užitné vlastnosti a zpracovatelnost. Samotná příprava základního polymeru probíhá na základě řetězení nízkomolekulárních látek, tzv. monomerů třemi různými chemickými postupy, tzv. polyreakcemi. Jedná se o opakující se procesy, kde se chemickou reakcí z monomeru, stává makromolekulární látka - polymer (viz obr. 16).



Obrázek 16 Schématické znázornění vzniku polymeru [24]

- Polymerace

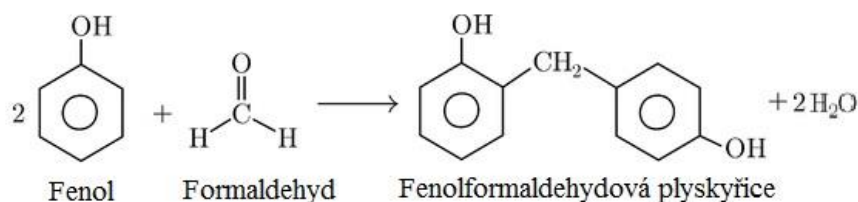
Princip tohoto chemického postupu výroby polymerů spočívá ve třech po sobě jdoucích fázích, které se nazývají iniciace, propagace a terminace. V průběhu první fáze – iniciace, se rozštěpí dvojné, popřípadě trojné vazby mezi atomy uhlíku v monomeru, tak vznikne útvar se dvěma volnými elektrony nazývaný radikál. Rozštěpení vazeb se děje účinkem katalyzátoru, při působení například tepelné energie. Následná fáze, při níž probíhá růst řetězce, se nazývá propagace. Průběh fáze spočívá ve spojení vzniklého radikálu při iniciaci s dalším monomerem, přičemž se na konci rostoucí makromolekuly stále obnovuje volný elektron. Poslední fáze – terminace, nastává v okamžiku spojení dvou radikálů a dochází k ukončení růstu řetězce. Průběh tohoto chemického postupu je znázorněn na obrázku 17.



Obrázek 17 Princip polymerace [24]

- Polykondenzace

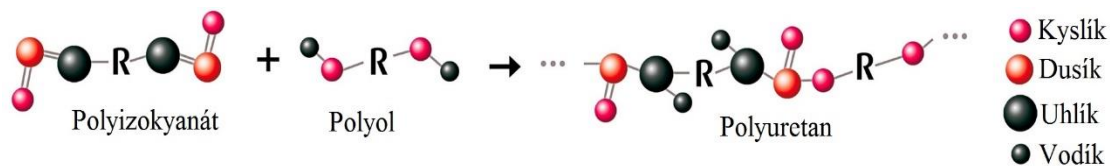
Jedná se o další metodu výroby polymerních materiálů. Výroba rovněž závisí ve spojování monomerů do dlouhých řetězců. Odlišnost od polymerace spočívá v průběhu výrobního procesu, kdy se odštěpí vedlejší produkt při každém přidání monomeru do řetězce. Obvykle vedlejším produktem je molekula vody nebo amoniaku. Na základě odštěpení molekul při tomto procesu se výsledný polymer liší chemickým složením od výrobního procesu polymerací. Jako typický příklad je možné uvést fenolplasty, které vznikají polykondenzací fenolů a aldehydů (viz obr. 18).



Obrázek 18 Princip polykondenzace fenolplastů [23]

- Polyadice

Proběhnutí téhle chemické reakce se podobá polykondenzaci, ale s tím rozdílem, že při ní nevzniká vedlejší produkt. Odlišnost spočívá ve přemísťování atomů vodíku, tudíž je odlišná struktura základního článku od výsledného polymeru. Jako příklad vyráběného polymeru, touto polyreakcí jsou polyuretany, které vznikají reakcí vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy (viz obr. 19).



Obrázek 19 Princip polyadice polyuretanu [23]

2.3 Vlastnosti plastů [14], [17], [21], [23], [24], [33], [38]

Každý plast má dané vlastnosti za určitých podmínek, které je charakterizují. Znalost chování různých druhů polymerů při určitých podmínkách umožňuje zvolit vhodný polymerní materiál s příslušnými aditivami pro danou oblast použití v praxi.

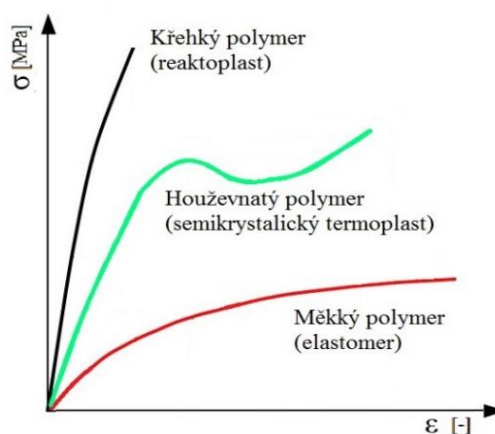
- Mechanické vlastnosti

Jedná se o jedny z hlavních vlastností plastů, které určují jeho použití při výrobě součástí, na které jsou kladeny určitá kritéria jednotlivých druhů namáhání. Mezi hlavní posuzované mechanické vlastnosti patří například pevnost, tvrdost a houževnatost. Mechanické vlastnosti nejvíce ovlivňuje chemické složení, teplota a struktura. Dále je vhodné rozlišovat krátkodobé a dlouhodobé namáhání.

Obecně s rostoucí molární hmotností polymeru se zlepšují jeho mechanické vlastnosti, ale zároveň dochází i k negativnímu vlivu na viskozitu taveniny, která se zvyšuje a tím je zhoršena zpracovatelnost polymeru.

- Krátkodobé namáhání plastů

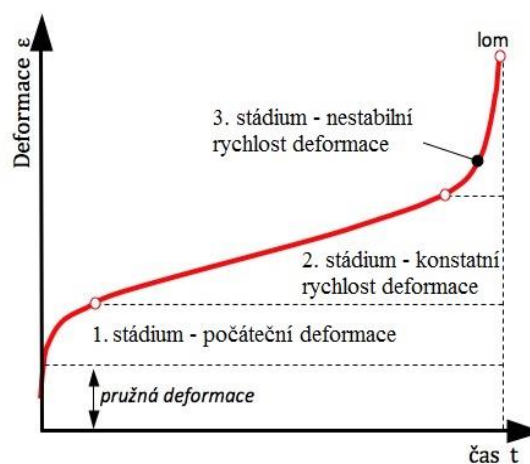
Při krátkodobém zatěžování (obvykle do několika minut) se zjišťuje závislost napětí σ na poměrné deformaci ϵ . Nejběžněji se provádí klasická tahová zkouška, kdy je zkušební vzorek namáhán jednoosým tahem do okamžiku jeho přetržení. Průběh tahové zkoušky je značně odlišný u jednotlivých typů polymerů. Semikrystalické termoplasty obvykle vykazují výraznou mez kluzu, jenž je charakteristická pro houževnaté materiály (viz obr. 20). Reaktoplasty se při tahové zkoušce většinou chovají jako křehké (tvrdé) materiály (viz obr. 20) a elastomery mají obvykle nevýraznou (smluvní) mez kluzu a křivka je typická pro měkké (tvárné) materiály (viz obr. 20).



Obrázek 20 Závislost napětí na deformaci v tahu [23]

- Dlouhodobé namáhání plastů

Na rozdíl od krátkodobého zatěžování, kde se určuje závislost napětí na deformaci, je dalším procesním činitelem čas, při kterém je těleso dlouhodobě namáháno obvykle nízkým zatížením. Nejběžnější zkouškou je kříp, neboli tečení. Podstata zkoušky spočívá v dlouhodobém zatěžování jednoosým tahem, nízkou silou při konstantní teplotě až do porušení. Výsledkem zkoušky je tzv. časová pevnost (viz obr. 21), kde s rostoucí dobou zatěžování klesá pevnost a tuhost, což lze znázornit sestavením isochronních křivek, které jsou uvedeny v příloze 2. Křípové zkoušky jsou především důležité pro nezesíťované polymery (termoplasty).



Obrázek 21 Průběh křípové zkoušky [23]

- Fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti určují rovněž rozsah použití daných plastů v praxi. Mezi hlavní posuzované vlastnosti lze zařadit například součinitel tření, teplotní roztažnost a vodivost, navlhavost, hořlavost, chemická a elektrická odolnost.

- Součinitel tření

Pro vzájemně pohyblivé plastové konstrukční prvky, jako například ozubená kola, kluzná ložiska, jsou obecně na materiál kladeny mezi požadavky dobré kluzné vlastnosti. Nízký koeficient tření u plastů mají především termoplastické materiály, jako například PBI, PTFE, POM a PA, kde jednotlivé koeficienty jsou uvedeny v tab. 2. Koeficient tření lze nadále snížit vhodným mazivem.

Tab. 2 Součinitel tření pro vybrané termoplasty. [29], [41]

Označení plastu	PTFE	POM	PBI	PA
Koeficient tření	0,04	0,21	0,25	0,28

*Pozn.: koeficienty tření jsou udávány při styku s ocelí za sucha

- Tepelná vodivost a roztažnost

Schopnost polymerů vést teplo je obecně velmi nízká v porovnání například kovy, nebo neželeznými materiály. Špatná vodivost řadí polymeru do velmi dobrých izolantů, zejména lehčené plynové polymery.

Teplotní roztažnost je velmi sledovanou vlastností polymerů, jelikož je mnohem větší než například u kovů. Obecně je vyjádřena koeficienty délkové a objemové teplotní roztažnosti. Tahle vlastnost zejména závisí na druhu materiálu a jeho struktuře, typu přísad a plniv. Teplotní roztažnost je obvykle nejnižší u tuhého typu materiálu, vyztuženého například skelnými vlákny.

- Chemická odolnost

Odolnost polymeru vůči působení různých chemických činidel závisí především na polaritě polymeru a rozpouštědla. Obecně platí, že polymer obsahující polární skupiny odolává nepolárním rozpouštědlům a naopak, například nepolární polymery PE, PP a PS se rozpouštějí v benzínu, který je nepolární rozpouštědlo. Chemická odolnost některých typů termoplastů je popsána v tab. 3.

Tab. 3 Chemická odolnost termoplastů. [23]

Zkratka	Odolnost proti:				
	Vodě	Kyselinám	Zásadám	Oxidům	Rozpouštědlům
PE	1	1	1	2 – 3	2 - 3
PTFE	1	1	1	1	1
PA	2	3	2	3	1 - 3
PET	1	2	3	3	1 - 3
PVC	1	1 – 2	1 – 3	1 – 2	1 - 3

*Pozn.: Stupně odolnosti 1 – velká, 2 – střední, 3 – malá.

- Navlhavost

Jedná se o negativní vlastnost mnoha materiálů a výjimku tvoří ani některé polymery. Navlhavost je schopnost přijímat vlhkost z okolního prostředí a má nepříznivý vliv na mechanické vlastnosti a rozměrovou stálost. Mezi navlhavé polymery patří například POM, PC a PA. Z chemického hlediska způsobuje navlhavost přítomnost silně elektronegativních atomů v řetězci makromolekuly, jedná se zejména o kyslík, dusík a chlór. Za nenavlhavé polymery lze považovat PTFE, PE, PP a PS.

- Elektrická odolnost

Obecně polymery jsou považována za dobré izolační materiály a z toho důvodu jsou široce využívány pro izolaci vodičů, kabelů a v elektrotechnických součástkách. Izolační vlastnosti lze snížit některými vodivými přísadami – plnivý (grafit, saze, kovové prášky).

- Stárnutí

Jedná se o degradační proces způsobený dlouhodobým působením zejména povětrnostními vlivům (světlo, kyslík, ozón a tepla). Degradace polymerů se projevuje zejména změnou barvy, ztrátou lesklosti a poklesem mechanických vlastností s následným praskáním (viz obr. 22).



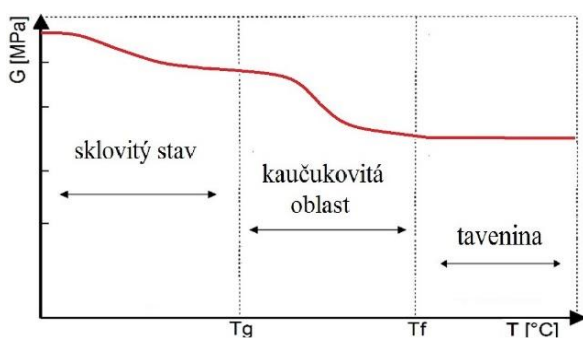
Obrázek 22 Praskání kaučuku vlivem povětrnostních podmínek [22]

- Termodynamické vlastnosti

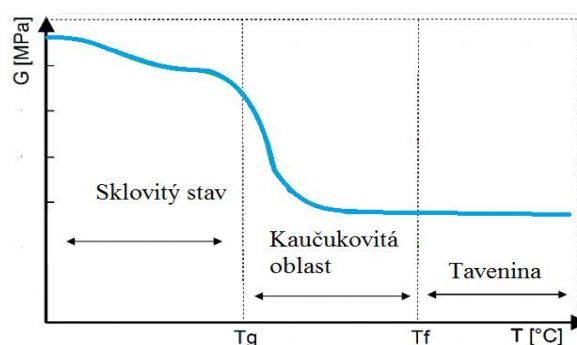
Výběr polymeru bývá nezdědk v praxi omezen jejich teplotním rozsahem použitelnosti, kde si umí zachovat především své mechanické vlastnosti. V určité oblasti teplot se různé polymery mohou chovat odlišně v závislosti na tvaru a uspořádání makromolekul.

- Reaktoplasty a elastomery

Vlastnosti reaktoplastů jsou při zvyšování teploty prakticky neměnné díky hustě zesíťované amorfnní struktuře, pokud nezačne docházet vlivem značně zvýšené teploty k chemickým změnám. Závislost modulu pružnosti na teplotě u reaktoplastů, je znázorněno na obrázku 23.



Obrázek 23 Vliv teploty na modul pružnosti u reaktoplastů [23]



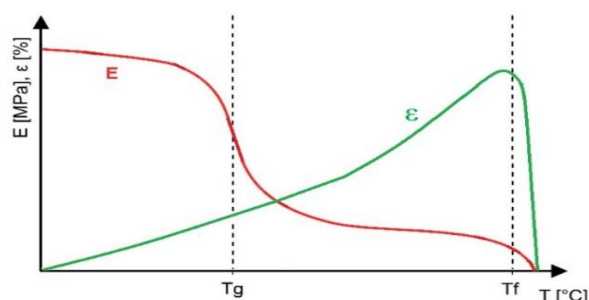
Obrázek 24 Vliv teploty na modul pružnosti u elastomerů [23]

Elastomery mají oproti reaktoplastům řidší zesíťovanou amorfnní strukturu. Vliv teploty na modul pružnosti řidce zesíťované amorfnní struktuře je na obrázku 24. Oproti reaktoplastům se liší výrazným poklesem modulu pružnosti (E) v kaučukovité oblasti.

○ Termoplasty

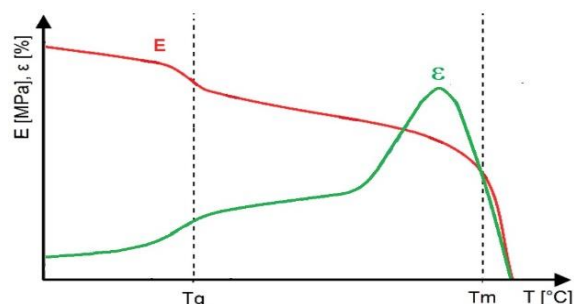
Definice termodynamických vlastností amorfních termoplastů se výrazně liší od semikrystalických. Hlavní rozdíl spočívá přibližně při teplotě skelného přechodu ' T_g ' a jeho vlivu na mechanické vlastnosti u obou typů.

- U amorfních termoplastů při dosažení teploty ' T_g ' klesá skokově modul pružnosti ' E ' a výrazně vzrůstá tažnost, polymer má tzv. kaučukovitý stav až do teploty viskózního toku ' T_f '. Nad teplotou ' T_f ' je oblast zpracovatelnosti amorfních termoplastů technologickými postupy například vstřikováním nebo vytlačováním. Závislost již výše zmíněných mechanických vlastností na teplotě je znázorněno na obrázku 25.



Obrázek 25 Závislost mechanických vlastností na teplotě amorfních termoplastů [23]

- Semikrystalické termoplasty se vyznačují mírnějším skokem poklesu modulu pružnosti ' E ' při dosažení teploty ' T_g '. Výraznější změny vlastností se projevují až při dosažení teploty tání ' T_m ', která značí teplotu tání krystalů. Mechanické vlastnosti v oblasti mezi T_g a T_m jsou závislé na podílu amorfni a krystalické struktury. Závislost modulu pružnosti a tažnosti na teplotě je znázorněno na obrázku 26.



Obrázek 26 Závislost mech. vlastností na teplotě semikrystalických termoplastů [23]

Pro mechanicky nenamáhané amorfni termoplasty je oblast použití omezena do teploty skelného přechodu ' T_g ', kdy výrazně klesají jejich pevnostní charakteristiky. Naopak pro semikrystalické termoplasty může považována oblast použití až do teploty tání ' T_m ', kdy až po dosažení této teploty nastávají v materiálu výrazné změny, protože přechází z tuhého stavu do taveniny.

2.4 Přísady do polymerů [17], [21], [23], [24], [33], [46]

Základní polymerní materiál nelze obvykle dobře zpracovávat a aplikovat na výstřiky. Pro získání požadovaných vlastností je nutné jej upravit patřičnými přísadami. Aditiva mohou jak zlepšovat mechanické vlastnosti polymeru, tak příznivě ovlivňují zpracovatelnost či jej chrání proti degradačním procesům. Podle výsledného efektu rozlišujeme několik základních aditiv.

• Stabilizátory

Obecně je úkolem stabilizátoru zpomalit degradační procesy, jako například změna struktury, vlastností či zbarvení. V podstatě se rozlišují stabilizátory dvojího druhu, první jsou tepelné a mají za úkol zlepšit odolnost výstřiku proti zvýšeným teplotám, druhým typem jsou UV stabilizátory, které absorbují spektrum slunečního záření o vlnové délce 300 až 400 nm.

• Změkčovadla

Používají se pro snížení tuhosti a tvrdosti, naopak zvyšují ohebnost, houževnatost a tažnost vychladlého polymerního výstřiku. Jejich nejčastější využití je u PVC.

- Maziva

Patří mezi důležité přísady, které příznivě ovlivňují zpracovatelnost plastu a rovněž přispívají ke zvýšení lesklosti povrchu výstřiku, jeho odformování a příznivě se podílejí na zvýšení tepelné a světelné stability.

- Retardéry hoření

Mají za úkol snížit hořlavost termoplastů. Účinnost těchto aditiv má vliv až při poměrně vysokých koncentracích (5 až 30%). Další jejich vlastnost spočívá i ve zpracování termoplastů, tím že prodlužují výdrž taveniny na teplotě.

- Barviva

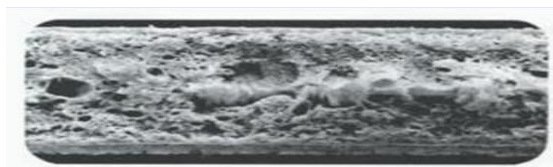


Obrázek 27 Barviva [22]

Slouží pro dodání požadovaného odstínu danému polymernímu materiálu. Základním požadavkem je jejich barevná stálost při výrobě konkrétních výstřiků v důsledku tepelného působení vstřikovacího stroje. Jejich aplikace se provádí buď při výrobě vstřikovacího materiálu (granulátu) nebo přímo barevných koncentrátů (viz obr. 27) aplikovaných přímo na vstřikovacích strojích při zpracování granulátu na hotové výstřiky.

- Nadouvadla

Jejich použití je při výrobě lehčených hmot (viz obr. 28). Tenhle typ přísad se po zahřátí, obvykle na zpracovatelskou teplotu polymeru rozloží a uvolní plyny, které tvoří póry ve výrobku. Plynná složka nejčastěji bývá dusík.



Obrázek 28 Řez napěněným materiálem [30]

- Plniva

Polymerní materiály, do kterých byly přidány plniva, se nazývají kompozitní materiály. Základním uspořádáním tohoto druhu kompozitního materiálu je pojivo tj. základní polymer s aditivami, a plnivo, což je v tomto případě výztuž. Používající plniva mohou být částicová nebo vláknitá. Vliv plniv na vlastnosti termoplastů jsou uvedeny v příloze 3.

- Částicová – nevyztužující plniva

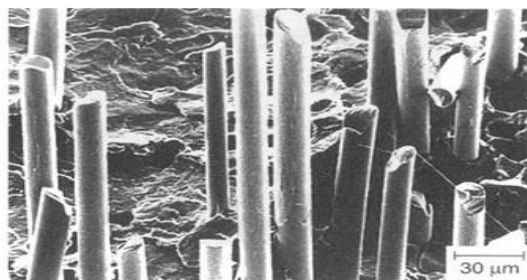
Do této skupiny jsou zařazeny různé minerální plniva odlišných tvarů a velikostí, které zvyšují viskozitu taveniny a obvykle nevyvolávají smrštění. Dále se používají pro zvýšení tuhosti, tvrdosti a teplotní odolnosti. Druhy částicových plniv jsou například skleněné kuličky, uhlíkový prášek, slída, talek, saze (viz obr. 29) a další. Plniva tohoto typu mohou působit i jako pigment či retardér hoření – saze. Koncentrace toho dle druhu plniv v kompozitu se pohybují v rozsahu od 1 – 60 hm%. Velikosti částic se pohybují nejčastěji v rozsahu 1-5 μm v závislosti na konkrétním druhu částicového plniva.



Obrázek 29 Saze [28]

- Vlákenná - vyztužující plniva

Tenhle typ plniva se používá především pro zvýšení tuhosti, pevnosti a tvarové stálosti a naopak snižuje ohebnost, tažnost, ale podstatně zvyšuje anizotropii smrštění. Koncentrace vyztužujících plniv se pohybuje většinou okolo 5 – 60 %hm. Nejpoužívanějším druhem vyztužujícího plniva jsou skelná vlákna, která jsou zobrazena na obr. 30, dále se používají uhlíková vlákna, kysličníky kovů a karbidů kovů a další. Vyztužující efekt vláknitých plniv závisí především na poměru jejich délky k jejich průměru, přičemž obvykle poměr $l/d > 10$, čím je poměr vyšší, tím mají výstřiky lepší mechanické vlastnosti a jsou stálejší za působení vysokých teplot.



Obrázek 30 Mikrostruktura plastu plněného skelnými vlákny [33]

2.5 Volba materiálu

Zvolení nejvhodnějšího materiálu pro zadanou součást provází nutnost zohlednit požadované kritéria, které jsou kladeny. Zvolený materiál musí při funkci součásti dostatečně splňovat mechanické a kluzné vlastnosti, současně musí mít materiál dobré zpracovatelské vlastnosti a v neposlední řadě je zapotřebí zohlednit cenu polotovaru. Pro zvolenou součást je vhodné uvažovat některý typ materiálu z kategorie konstrukčních plastů, některé typy jsou uvedeny v příloze 2. Po zvážení všech kladených požadavků byl jako polotovar pro zadanou součást zvolen polyoxymetylen (POM). Tento typ termoplastu vyniká zejména dobrými kluznými vlastnostmi, odolností proti křípu a rázům, což jej řadí mezi vhodné materiály, použitelné pro výrobu ozubených kol. Základní vlastnosti zvoleného materiálu jsou uvedeny v tab. 4 a materiálový list je uveden v příloze 3.

Tab. 4 Základní pevnostní (při +23°C) a doporučené zpracovatelské vlastnosti POM. [7]

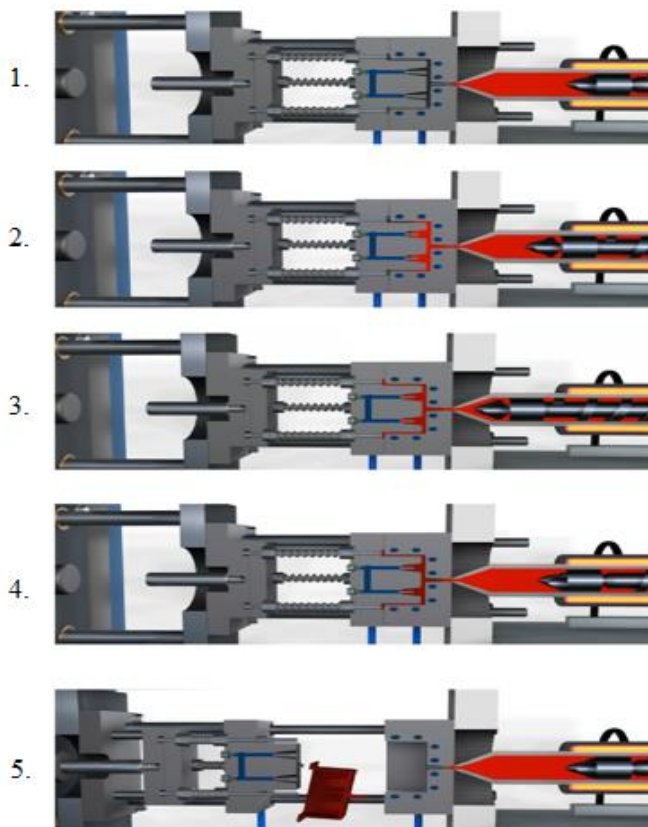
CELCON LW90-S2 – POM	
Hustota [ρ]	1,38 [g/cm ³]
Pevnost v tahu [R_m]	50 [MPa]
Tažnost [ε]	4,8 [%]
Vrubová houževnatost [KCV]	7 [kJ/m ²]
Bod tání [T_m]	166 [°C]
Teplota taveniny [T_{TAV}]	205 [°C]
Teplota formy [T_F]	90 [°C]
Teplota odformování [T_E]	115 [°C]
Vstřikovací tlak [p_v]	70 - 120 [MPa]
Smrštění \perp / \parallel ke směru tečení [-]	1,6 / 1,9 [%]
Max. obvodová rychlost šneku [v_s]	0,2 [m/s]
Max. obsah vody [-]	0,35 [%]

*Pozn.: jedná se o doporučené zpracovatelské vlastnosti pro výrobní technologii vstřikováním.

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ [13], [30], [36], [46]

Vstřikování plastů je v současnosti nejrozšířenější technologie pro výrobu součástí z plastů. Jedná se o výrobní technologii, kde vzniká většinou hotový výrobek v jednom pracovním cyklu, bez nutnosti dalšího opracování. Technologie vstřikování plastů umožňuje zpracovávat téměř všechny termoplasty s dobrou rozměrovou přesností a velkou produktivitou.

Metodika základního vstřikování plastů probíhá v několika dílčích fázích (viz obr. 31). Při zahájení výroby prvního dílce je v počáteční fázi '1' určena objemová dávka granulátu a jeho následná plastifikace, za působení tepla spolu s otáčením šneku pro lepší homogenizaci taveniny. Následně nastává samotný proces vstřikování '2', kdy je tavenina tlakově vstříknuta do dutiny formy axiálním posuvem šneku. Po naplnění dutiny formy taveninou nastává její tuhnutí '3', což má za následek mírnou deformaci dílce vlivem smrštění. Spolu s tuhnutím probíhá proces doplňování taveniny dotlakem, což částečně vykompenzuje smrštění v dutině. Po dokončení fáze dotlaku dochází k další plastikaci '4', a následně po ztuhnutí vstříknuté hmoty na požadovanou teplotu odformování je forma rozevřena s následným vyhozením či vyjmutím výstřiku. Proces je nadále opakován od druhé fáze, jelikož již došlo k plastikaci v předposlední fázi.



Obrázek 31 Základní fáze vstřikování termoplastů [13]

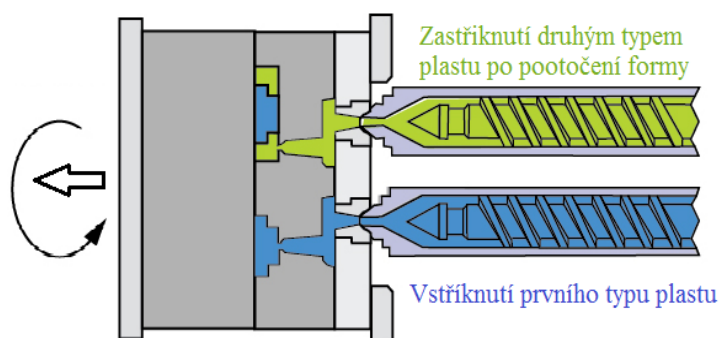
3.1 Speciální technologie vstřikování termoplastů [30], [36]

Kromě klasického provedení vstřikování plastů existuje ještě mnoho speciálních vstřikovacích technologií. Prakticky všechny speciální technologie vstřikování vychází z poznatků klasického provedení vstřikování, ale můžou se lišit jak z hlediska technologických parametrů, tak z hlediska konstrukce vstřikovací formy a stroje. Nejčastěji používané modifikace vstřikování plastu jsou popsány níže.

- Vícekomponentní vstřikování

Jedná se o poměrně rozsáhlou technologii, co se týče různých druhů modifikací. Avšak základní princip vícekomponentního, nebo vícebarevného vstřikování spočívá ve spojování dvou nebo více polymerních materiálů v jednom výrobku, přičemž se jedná o spojení stejného typu termoplastu v odlišném barevném provedení, nebo spojení odlišných, ale kompatibilních termoplastů. Technologie je založena na vytvoření spoje mezi použitými polymery především adhezními silami.

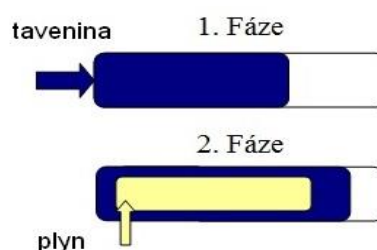
Nejčastější způsob výroby spočívá v otáčení dvou a více pohyblivých částí formy, kdy do první dutiny formy je vstříknut první typ plastu, po ztuhnutí je forma rozevřena a pohyblivá část pootočená do druhé pozice a následuje zastříknutí jiným typem plastu (viz obr 34), spolu s touto fází se opakuje vstříknutí prvního typu do druhé pohyblivé části formy.



Obrázek 32 Princip vícekomponentního vstřikování [36]

- Technologie GIT

Účelem tohoto typu vstřikování je vytvoření uzavřené dutiny ve výstřiku za pomoci přivedeného inertního plnu do taveniny uvnitř formy. Tímto způsobem lze vyrobit výstřík zdánlivě velkého průřezu, přičemž odpadne chlazení velkého množství taveniny, dále dochází ke snížení jeho hmotností a zkrácení výrobního času. Uzavřená dutina vzduchu rovněž zabraňuje vzniku propadlin u tlustostěnných částí dílce. Základní fáze plnicího procesu dutiny formy jsou vyobrazeny na obrázku 32.



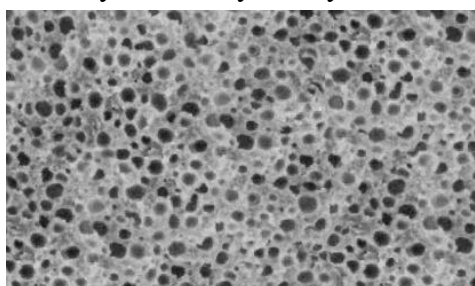
Obrázek 33 Základní fáze technologie GIT [36]

- Technologie WIT

Jedná se o technologii podobnou GIT, s tím rozdílem že se vytváří dutina za pomoci vody, namísto plynu. Voda se vstříkuje do taveniny plastu ve formě pomocí pumpy. V důsledku chladicího efektu vody se výrazně zkracuje doba tuhnutí taveniny a tím i celý výrobní proces. Voda, stejně jako plyn přebírá funkci dotlaku a zabraňuje smrštění. Mezi další výhody patří například snížení hmotnosti tlustostěnných výrobků a kvalitní povrch vnitřní stěny výstřiku. Nevýhodou téhle technologie je pořizovací cena vstřikovacího stroje a potřeba dodatečného zařízení.

- Technologie MuCell

Aplikování této technologie se provádí zejména pro výrobu lehčených plastových výstřiků. Princip výroby spočívá ve vstřikování stlačených neaktivních plynů například dusík či oxid uhličitý do taveniny plastu v plastifikační části válce vstřikovacího stroje. Po vstříknutí taveniny do dutiny formy a následnému tuhnutí s poklesem tlaku, vzniká lehčená struktura,

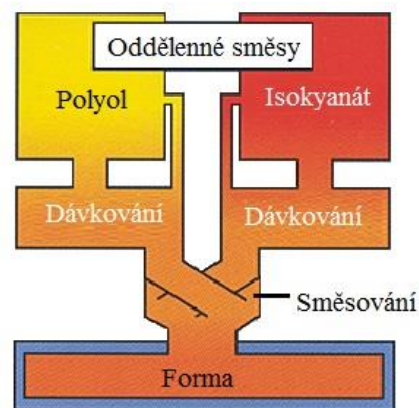


Obrázek 34 Struktura výstřiku MuCell [20]

kteřá je znázorněna na obrázku 33, kde kuličky plynu mají velikost přibližně 5 – 50 μm . Hlavní výhoda spočívá ve snížení hmotnosti dílce o 10 - 30 % v závislosti na jeho geometrii při nízké degradaci pevnostních charakteristik. Další výhodou tohoto napěnění je snížení uzavírací síly formy, snížení doby tuhnutí výstřiku a tím výrazné zkrácení výrobního cyklu. Stlačené kuličky plynu rovněž svým tlakem kompenzují smrštění výstřiku.

- Reakční vstřikování RIM

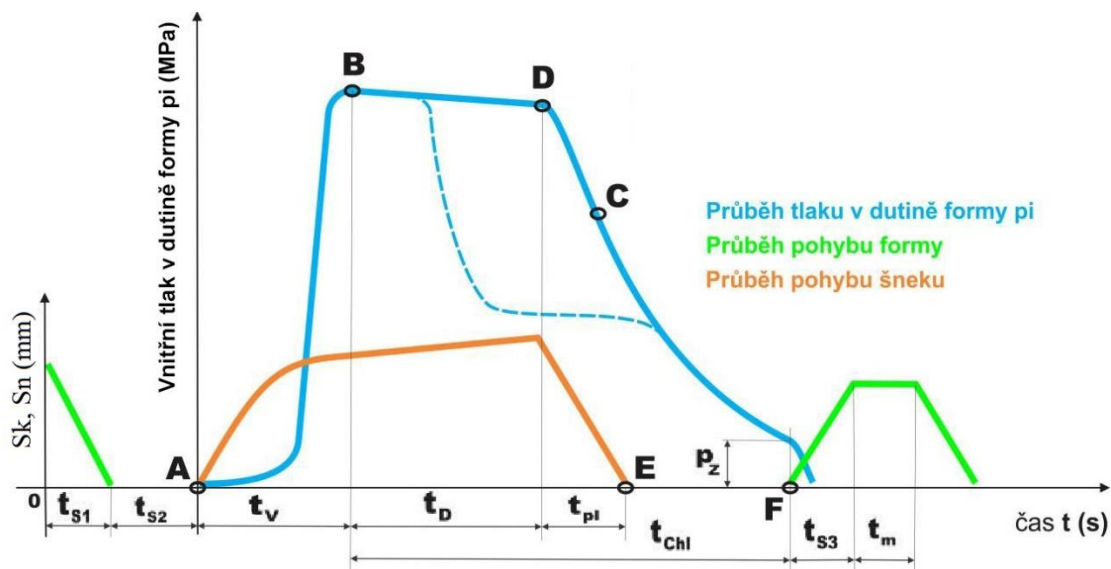
Oproti klasickému typu vstřikování se liší v tom, že se do dutiny formy nevstřikuje tavenina, ale kapalina. Výhodou tohoto principu je ten, že kapalina má vyšší tekutost než tavenina a nejsou nutné vysoké vstřikovací tlaky a teplota kapaliny. Následné tuhnutí kapaliny je dosaženo některou z polyreakcí, konkrétně polykondenzací jsou nejčastěji zpracovávány materiály PUR. Zjednodušené schéma procesu je znázorněno na obrázku 35. Tato technologie je většinou aplikována na velkoplošné díly. Mezi nevýhody reakčního vstřikování patří nepříliš kvalitní povrch součásti způsobený nízkými vstřikovacími tlaky, poměrně delší výrobní cyklus oproti klasickému vstřikování taveniny a velmi drahé strojní zařízení.



Obrázek 35 Základní princip RIM [36]

3.2 Vstřikovací cyklus

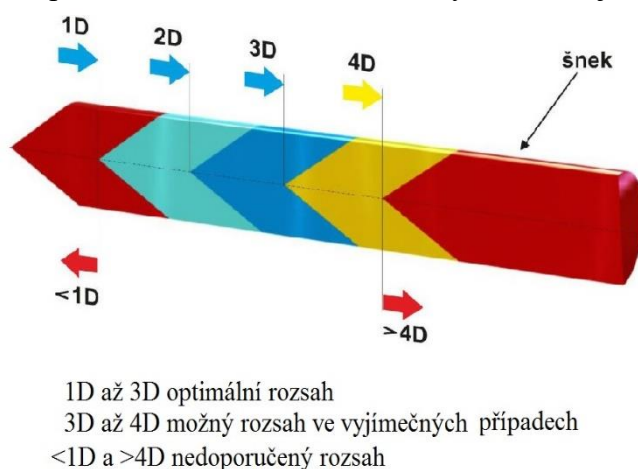
Proces vstřikování taveniny plastu je provázen sledem fází, které se podílí k výrobě vstřikovaných dílů. V podstatě by se dalo říci, že se jedná o výrobní cyklus vstřikované součásti. Průběh cyklu spolu se znázorněnými dílčími fázemi je znázorněn na obrázku 35. Začátek cyklu je definován počáteční fází – uzavření formy, jež se jedná o strojní časy ' t_{s1} ' a ' t_{s2} '. Následná fáze je označena ' t_v ' a jedná se o dobu plnění formy axiálním tlakem šneku, kde dobu plnění vymezují body 'A' a 'B'. Při plnění dutiny formy taveninou nastává její chlazení ' t_{chl} ', které trvá až do doby otevření formy a vyhození přilnutého výstřiku. Během ochlazování hmoty nastává její smrštění, které je kompenzováno dotlakem ' t_d ', který zabráňuje tvorbě propadlin či staženin výstřiku. Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, tenhle úsek je značen ' t_{pl} ' a končí v bodě 'E'. Během soustavného chlazení, klesá tlak ve formě až na hodnotu zbytkového tlaku ' p_z ', což je tlak při kterém dochází k otevření formy bod 'F' a vyhození výstřiku. Otevření formy a vyhození výstřiku je bráno jako strojní čas, který je označen ' t_{s3} ' a je-li výstřik vyjmut manipulátorem tak je k tomu vymezen čas ' t_m '.



Obrázek 36 Průběh vstřikovacího cyklu [36]

- Plastikace

Proces kvalitní plastikace, neboli homogenní natavení granulátu za působení topných těles, které jsou umístěny na vnějším obvodu tavicí komory, spolu se třením šneku při jeho otáčení, je prvotním znakem kvalitních výstřiků. Správně určené velikosti dávky musí zajistit dostatečné zaplnění tvarové dutiny formy spolu se zaplněním vtokových systémů a musí rovněž zahrnovat určité množství, které bude kompenzovat změny objemu tuhnoucí hmoty způsobené smrštěním. Velikosti vstřikovací dávky je proto navyšována přibližně až o 5-15 % objemu dutiny formy. Rozsah objemu dávky je rovněž omezen průměrem šneku (viz obr. 37). Plastikací proces po prvním naplnění taveniny (viz obr. 32, bod 3), nemá následně vliv na délku vstřikovacího cyklu, jelikož probíhá současně s fází chlazení.

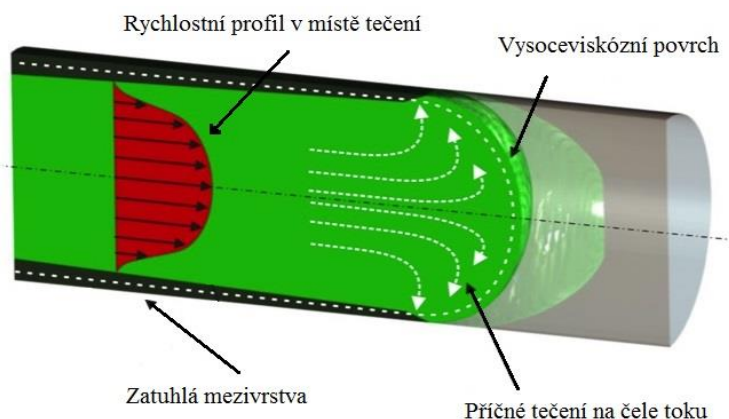


Obrázek 37 Rozsah objemu vstřikovací dávky [36]

- Plnění

Fáze plnění neboli proces vstřikování taveniny do dutiny formy axiálním pohybem šneku je důležitou částí vstřikovacího cyklu, jelikož se významně podílí na vlastnostech hotového výstřiku. Doba plnění dutiny formy by měla být co nejkratší z důvodu styku taveniny s formou a jejím následným ochlazením při čemž ztrácí tavenina tekutost. Doba plnění se pohybuje od zlomku sekundy do maximálně několika sekund v závislosti na vstřikovacím tlaku a velikosti dutiny formy.

Proud taveniny v dutině formy má charakter laminárního toku. Znázornění rychlostního profilu laminárního toku taveniny a jeho vliv na plnění dutiny formy je na obrázku 38, kde se tavenina při plnění formy ochlazuje a její malá část ztuhne a přilne k povrchu dutiny formy. Zatuhlá mezivrstva nadále teplotně izoluje chladnou formu od horké taveniny. Uvnitř dutiny je potom plastické jádro s vysokou tekutostí, umožňující další průtok taveniny do úplného zaplnění dutiny formy. Laminární tok při plnění dutiny formy je nutný z důvodu rovnoměrného plnění dutiny a zabránění rozrážení zatuhlé mezivrstvy.

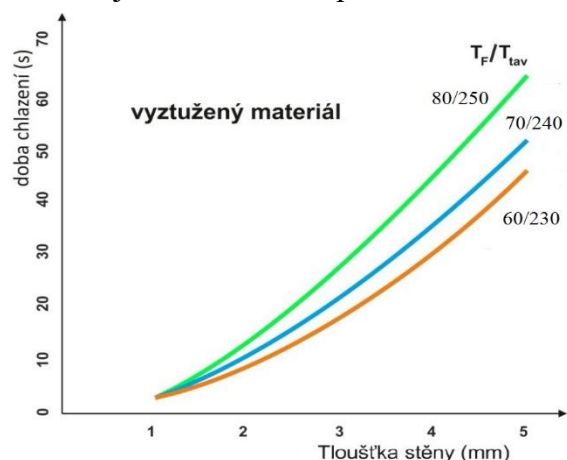


Obrázek 38 Vliv laminárního toku na plnění dutiny formy [36]

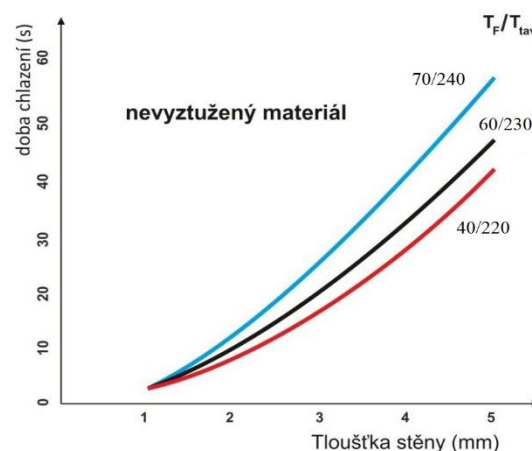
- Chlazení

Fáze chlazení začíná již při prvním styku taveniny plastu s teplotně chladnější formou a probíhá až do doby úplného ztuhnutí taveniny v dutině formy na teplotu odformování, která musí být tak nízká, aby nedošlo k deformaci dílce při jeho vyhození. Rovnoměrný proces chlazení hmoty má výsledný vliv na výslednou geometrickou přesnost výstřiku.

Doba chlazení závisí na mnoha faktorech, například tloušťce stěny, druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímají formy. Přibližnou dobu chlazení je možné určit například z obrázků 39 a 40, nebo s využitím simulačních analýz.



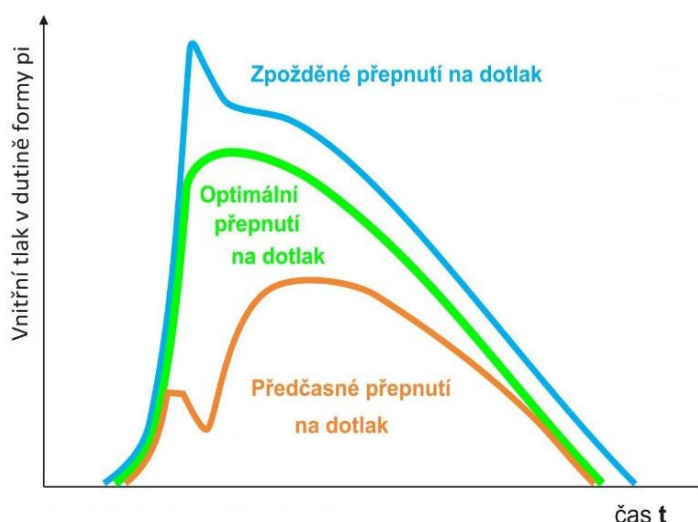
Obrázek 39 Závislost doby chlazení na tloušťce stěny pro vyztužený materiál [36]



Obrázek 40 Závislost doby chlazení na tloušťce stěny pro nevyztužený materiál [36]

- Dotlak

Tato část vstřikovacího cyklu nastává ihned po zaplnění dutiny formy a projevuje se snížením vstřikovacího tlaku. Pokud by nedošlo včas ke snížení tlaku, tak může dojít k nežádoucímu vysokému tlaku ve formě s možností poškození čelistí, zvětšení rozměrů a hmotnosti výstřiku a přetokům v dělicí rovině. Při předčasném a výrazném snížení vstřikovacího tlaku může naopak dojít i k nedostříknutému výrobku. Vliv doby přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak je znázorněno na obrázku 40. Doba dotlaku je závislá především na průřezu vtokového kanálku a trvá obvykle několik sekund do doby ztuhnutí taveniny ve vtokovém kanálku.



Obrázek 41 Vliv doby přepnutí dotlaku [36]

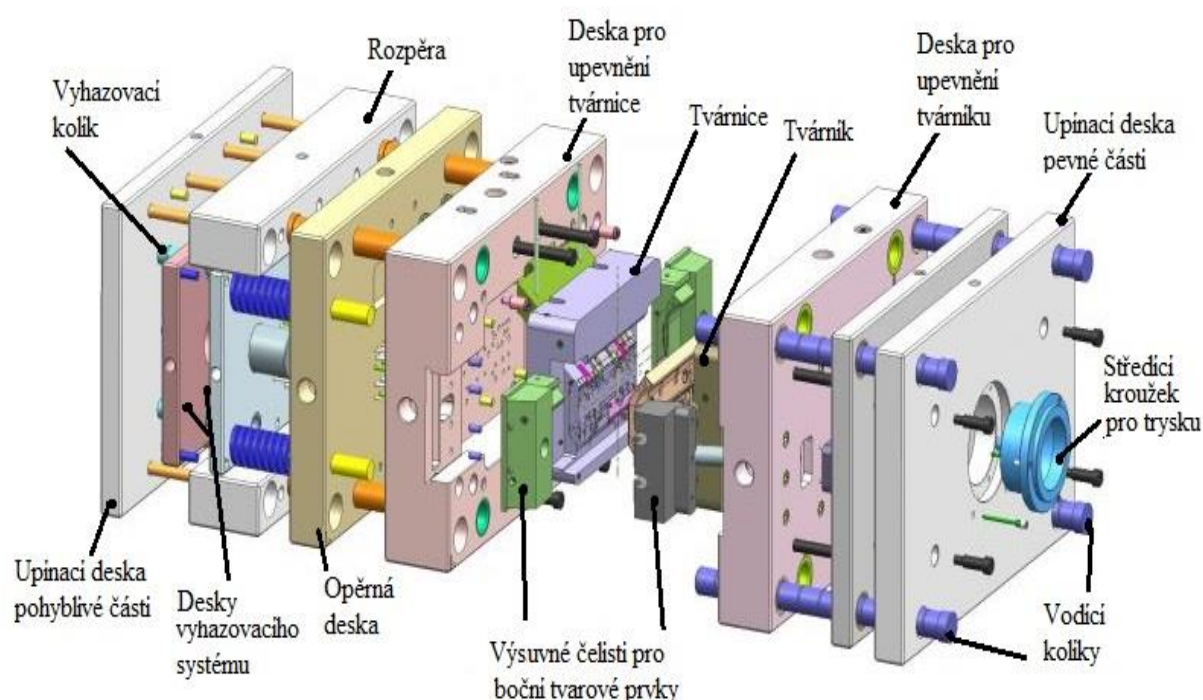
- Otevření formy a vyhození výrobku

Závěr vstřikovacího cyklu je provázen otevření vstřikovací formy případně i vysunutím bočních hydraulických jader. Po rozevření formy na dostatečnou velkou vzdálenost, aby bylo možné bez problému výstřik ze vstřikovací formy vyhodit bez nebezpečí vzpříčení v otevřené dělicí rovině formy, popřípadě aby bylo dost prostoru pro vyjmutí výstřiku za pomoci manipulátoru, který je nejčastěji využíván při výrobě rozměrných výstřiků. Doba této fáze cyklu závisí především na rychlosti rozevření v závislosti na dráze, kterou pohyblivá část formy urazí.

3.3 Vstřikovací forma [4], [9], [19], [30], [36], [44]

Obecně lze říci, že se jedná o výrobní nástroj každého dílce vyrobeného technologií vstřikování plastů. Princip vstřikovací formy spočívá v tom, že vytváří požadovaný tvar výstřiku z taveniny různých termoplastických materiálů, obvykle bez nutnosti dalšího opracování. V současnosti jsou vstřikovací formy koncipovány tak, aby umožnili co nejvyšší kvalitu vyrobených produktů o potřebné velikosti série (až statisíce výstřiků) v co nejkratším možném časovém úseku. Každá vstřikovací forma proto obsahuje několik nutných částí, které výrazně podporují rychlost výroby a výslednou kvalitu produktu.

Základní koncept vstřikovacích forem je uspořádán v tzv. deskovém provedení, které jsou obvykle normáliemi, zakoupené od různých specializovaných firem. Obvyklý koncept formy bývá uspořádán do dvou základních podsestav, pevné a pohyblivé části formy. Zjednodušené schéma formy spolu s popisem její základních částí je znázorněn na obrázku 42. Obě podsestavy jsou následně k sobě zaformovány pomocí vodících kolíků, které zajišťují přesné sevření tvarových dutin a prvků, jež obsahují obě podsestavy.



Obrázek 42 Základní popis vstřikovací formy [9]

Deskové provedení vstřikovací formy umožňuje sestavit formu tak, aby byla zajištěna celkově její snadnější výrobitelnost a opravitelnost. Dutina pro zhotovení výstřiku se nachází v deskách rozdělující formu na pevnou a pohyblivou podsestavu. Vstřikovaný dílec by měl být orientován ve formě tak, aby dělicí rovina nezasahovala do jeho pohledových a funkčních ploch. Dutina formy pro výstřik může být zhotovena přímo v deskách, ale z hlediska nákladné výrobitelnosti a případně složité opravitelnosti geometrických prvků to není vhodné. Rovněž se sníží náklady na drahé polotovary nástrojové oceli, proto dutiny pro výstřiky tvoří tvárnice a tvárnice s tvarovými jádry, které jsou vloženy a upevněny do dělicích desek vymezujících pevnou a pohyblivou část formy.

- Násobnost formy

Výroba vstřikovací formy je obvykle nákladnou záležitostí a z hlediska velké kapacity výstřiků, spolu s požadavkem jejich výroby v co nejkratším čase, je efektivní navrhnout vstřikovací formu vícenásobnou. Časová úspora výroby požadované série se následně projeví ve finančních nákladech. Nicméně vícenásobné vstřikovací formy nejsou příliš vhodné pro velmi geometricky složitější, případně rozměrnější dílce, skrze velikost a konstrukční složitost výsledné vstřikovací formy. Načež není neobvyklé, vyrobení dvou i více forem, vyrábějící stejný produkt. Násobnost formy bývá posuzována z několika následujících hledisek.

Určení násobnosti dle požadovaného termínu dodání produkce je dán vztahem:

$$n_1 = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot K \cdot 3600} [-], \quad (3.1)$$

Kde: N - velikost požadované série [ks],
 t_c - doba vstřikovacího cyklu [s],
 t_p - předpokládaná doba produkce [hod],
K - koeficient využití času (0,7 - 0,9) [-].

Další vztah pro určení násobnosti je posuzován dle kapacity vstřikovacího stroje:

$$n_2 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_k)} [-], \quad (3.2)$$

Kde: Q_v - vstřikovací kapacita stroje [cm^3],
V - objem výstřiku [cm^3],
 V_k - objem vtokového zbytku [cm^3].

Dále je možné určit násobnost podle plastikačního výkonu stroje:

$$n_3 = \frac{0,25 \cdot Q_p \cdot t_c}{\rho \cdot (V + V_k)} [-], \quad (3.3)$$

Kde: Q_p - plastikační kapacita stroje [kg/hod],
 ρ - hustota [g/cm^3].

Posledním kritériem pro posouzení násobnosti je dle uzavírací síly:

$$n_4 = \frac{800 \cdot F_u}{p_i \cdot S} [-], \quad (3.4)$$

Kde: F_u - uzavírací síla [kN],
 p_i - tlak v dutině formy [MPa],
S - Plocha průmětu jednoho výstřiku [mm^2].

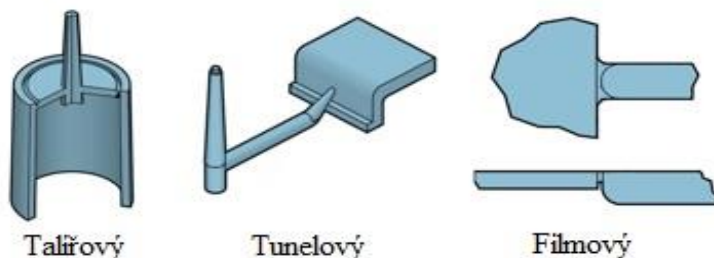
Pro určení násobnosti formy je především třeba dbát ohled na dostupné vstřikovací zařízení, do tohoto kritéria spadají rovnice 3.2, 3.3, a 3.4, optimální násobnost by pak měla být shodná s hodnotou ze vztahu 3.4. Pokud hodnota bude nižší, je zapotřebí navrhnout jiný vstřikovací stroj pro zajištění požadované násobnosti určené z kritéria termínu dodání.

- Vtokové soustavy

Rozvod taveniny od vstřikovacího stroje, respektive jeho vstřikovací jednotky po dutinu formy je veden rozváděcími kanálky vtokové soustavy. Vtok by měl umožnit rovnoměrné plnění tvarové dutiny a dlouhé působení dotlaku pro kompenzaci smrštění. Zvolení místa vtoku má značný vliv na výslednou kvalitu výstřiku a tavenina by neměla být vstřikována do mechanicky namáhaných částí a v případě vnějších designových výstřiků by vtok neměl být volen na pohledové plochy. Vtok musí být řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát. Typy vtokových soustav je možné rozdělit na dva základní typy:

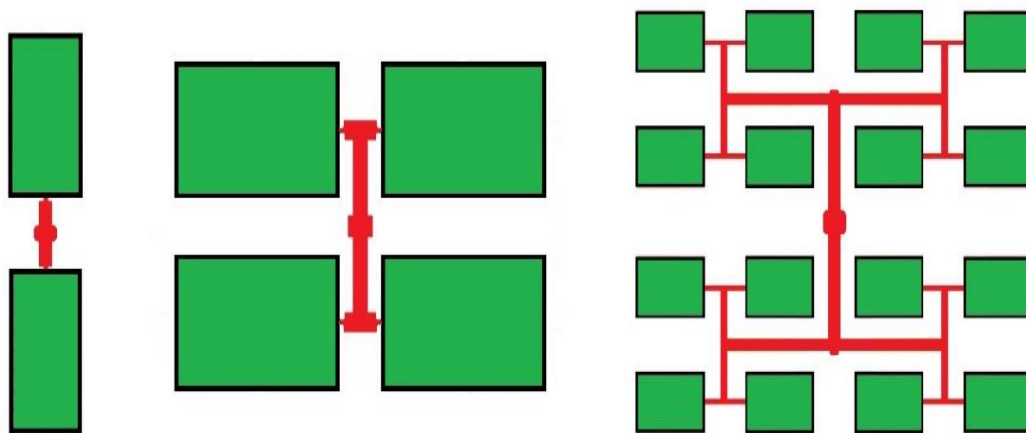
- Studená vtoková soustava

Studenou vtokovou soustavou se rozumí typ vtoků a rozváděcích kanálků, které ztuhnou spolu s výstřikem a po vyhození z formy je nutné tenhle tzv. vtokový zbytek manuálně odstranit. Při konstrukci vícenásobné vstřikovací formy s tímhle typem vtokové soustavy je nutné dbát určitých technologických zásad. Od vstřikovacího stroje tavenina nejprve proudí hlavním vtokovým kanálem, kde následně v dělicí rovině je proud taveniny rozdělen do rozváděcích kanálků, kterými nadále proudí přes různé vtokové ústí (viz obr. 43) do dutiny formy. Volba ústí závisí především na geometrii zadané součásti.



Obrázek 43 Druhy ústí vtoku [44]

Při návrhu uspořádání a rozměrů rozváděcích kanálků je nutné dbát ohled na fakt, aby všechny dutiny formy byly zaplněny ve stejnou dobu, správné uspořádání vtoků je znázorněno na obrázku 44.



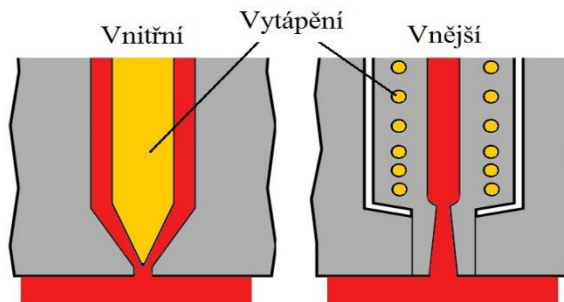
Obrázek 44 Uspořádání studených vtoků pro vícenásobné vstřikovací formy [19]

Studené vtokové soustavy jsou voleny u malých sérií, kde nejsou finanční prostředky pro nákladnější horkou vtokovou soustavu. V současnosti je ale čím dál více opouštěno od konstrukce vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou, hlavním důvodem je manuální odstranění vzniklého odpadu a jeho následná recyklace, což znesnadňuje automatizaci výrobního procesu.

○ Vyhřívaná vtoková soustava

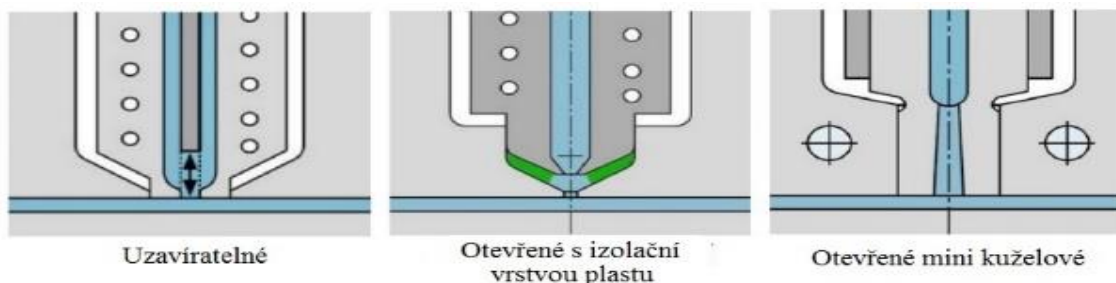
Vtokové soustavy tohoto typu jsou během celého pracovního cyklu udržovány nad teplotou tání plastu, konkrétně na zvolenou teplotu taveniny. Nesporná výhoda spočívá v zabránění tuhnutí taveniny ve vtokové soustavě v průběhu tuhnutí výstřiku jako tomu je u studené soustavy, tím dochází ke značné úspoře granulátu při velkých sériích, což má vliv na automatizaci výrobního procesu a výslednou cenu výrobku. Systém vyhřívané vtokové soustavy je složen z vtokové vložky, vyhříváných rozváděcích kanálků, vstřikovacích trysek a kabeláže, kde celá vtoková soustava je odizolovaná od formy a konstrukční provedení pro vícenásobnou vstřikovací formu je znázorněno na obrázku 47.

Konstrukčních provedení je závislé především na typu ústí trysky a vyhřívání. Vyhřívání je podstatě dvojího typu a je schematicky znázorněno na obrázku 45. První typ využívá topné těleso, které je obklopeno taveninou, nevýhoda spočívá ve styku taveniny se stěnou formy a její možnou následnou degradací. Kvalitnější a více využívaný je druhý typ vyhřívání, který je řešen tzv. topnou spirálou ve stěně trysky oddělující taveninu od temperované formy, čímž nedochází k jejich přímému kontaktu.

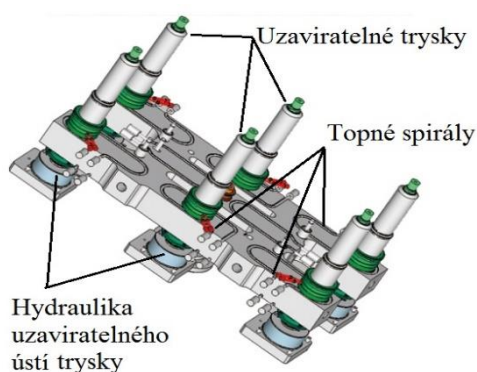


Obrázek 45 Typy vytápění trysek [44]

Provedení ústí trysky má více obměn. Detailní provedení každého typu je odvozeno od dvou základních ústí – otevřeného a uzavíratelného (viz obr. 46). Hlavní požadavek na trysky spočívá v nevytečení taveniny během rozevření formy v rámci pracovního cyklu. Otevřené trysky tohoto požadavku dosahují ztuhnutím tenké vrstvy taveniny v ústí vtoku, přičemž se nesmí ucpat. Další často používaný typ je otevřená tryska s mini kuželovým ústím, které během procesu tuhnutí výstřiku rovněž ztuhne a zanechá na výstřiku malý kuželový vtok.



Obrázek 46 Typy ústí vyhříváných trysek [44]

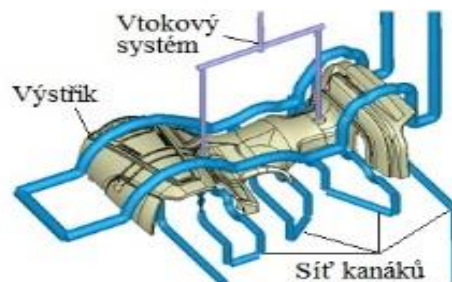


Obrázek 47 Vyhřívaná vtoková soustava [40]

U druhého typu je hlavní výhodou uzavření ústí pomocí hydraulicky, případně pneumaticky řízeného mechanického uzávěru – jehly. Tento typ je využíván především u součástí, na které je kladen velký důraz na kvalitu plochy v místě vtoku, jelikož nezanechává prakticky žádné stopy po vtokovém zbytku. Značnou nevýhodou je vysoká cena a proto se využívá prakticky jen u velkosériové výroby, kde je rovněž kladen důraz na rozsah automatizace výrobního procesu.

- Temperace forem

Kvalitní temperační neboli chladičí systémy forem jsou důležitou konstrukční součástí každé navržené vstřikovací formy určené do sériové výroby. Obecně temperace formy znamená i její uvedení do provozní teploty již před zahájení výroby prvního vstřikovaného dílce. Hlavní účel každého temperačního systému je tedy rovnoměrně a v co nejkratším čase zchladit taveninu plastu prvního i každého následujícího výstřiku, na teplotu odformování, která při vhodné konstrukci vyhazovacího systému zamezuje jeho deformaci při působení tlaku vyhazovacích prvků, jež překonávají adhezní síly mezi výstřikem a formou. Pro návrh systému je nutné dodržet rozměrové zásady, které jsou uvedeny v tabulce 5. Systém je rovněž nutné navrhnout i s ohledem na další konstrukční prvky formy, jako například součásti vyhazovacího systému tím způsobem, aby nedošlo ke vzájemné kolizi či narušení funkce obou systémů. Systém je nejčastěji tvořen pouze sítí kanálků (viz obr 48), případně za pomoci různých přepážek (viz obr 49).

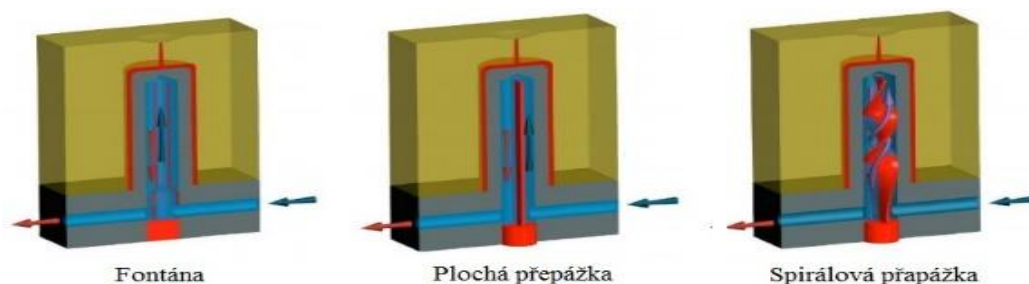


Obrázek 48 Příklad temperačního systému [4]

Tab. 5 Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálků [44]

Tloušťka stěny vstřikovaného dílu [mm]	Průměr temperačního kanálku [mm]	Vzdálenost osy temperačního kanálku od dutiny vstřikovací formy [mm]	Vzájemná vzdálenost os temperačních kanálků [mm]
0-1	5 – 6	10 – 14	10 – 12
1 – 2	6 – 8	14 – 18	12 – 16
2 – 4	8 – 10	18 – 24	16 – 22
4 – 6	10 – 12	24 – 34	22 – 28
6 – 8	12 – 16	34 – 42	28 – 36
8 - 12	16 - 20	42 - 55	36 - 50

Pro většinu vstřikovacích aplikací je použito jako médium směs vody a antikorozních přísad. Ve speciálních případech temperace formy, obvykle nad 90°C, je ve většině případů použit olej namísto vody. Pro rovnoměrné chlazení taveniny v dutině formy je doporučeno rozmístit sít' kanálků, přepážek či různě tvarovaných spirál tak, aby proudění média vedlo od nejteplejšího místa formy, po nejstudenější. Pro efektivní odvod tepla je nutností, aby médium mělo turbulentní charakter proudění, namísto lamelárního typu. V praxi bývá zapotřebí se ujistit ještě před zahájení výroby formy, zda navržený temperační systém dokáže výstřik spolehlivě a rovnoměrně uchladiť, k tomuto účelu slouží simulační analýzy.



Obrázek 49 Druhy přepážek temperačního okruhu [44]

- Vyhazovací systémy

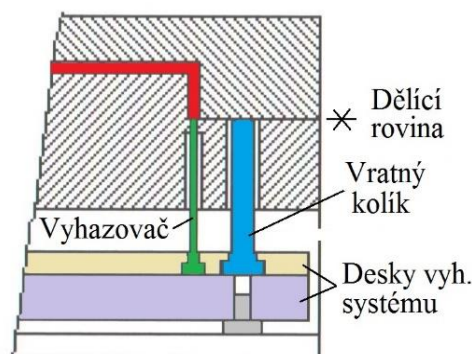
Jejich úkolem je zajistit odformování výstřiku z pohyblivé části formy tak, aniž by došlo k jeho deformaci. Nesprávná konstrukce vyhazovacího systému má za následek především nedostatečně rozložený tlak působících vyhazovacích prvků s následnou nežádoucí deformací výstřiku při vyhození z formy. Nejčastěji je prováděno odformování výstřiků za pomoci mechanických prvků – kolíků zobrazených na obrázku 50 (případně stírací deskou viz obr. 55) jenž jsou upnuty obvykle mezi dvěma tzv. vyhazovacími deskami, dále pak je možné použít systém odformování stlačeným vzduchem případně stírací deskou (viz obr. 55). Při konstrukčně složitějším výlisku je proto zapotřebí správně zvolit vyhazovací prvky a jejich rozložení v závislosti na konstrukci vyráběného dílce a dalších případných náležitostí formy, tak aby byla zajištěna její dostatečná tuhost a především vyrobitelnost.



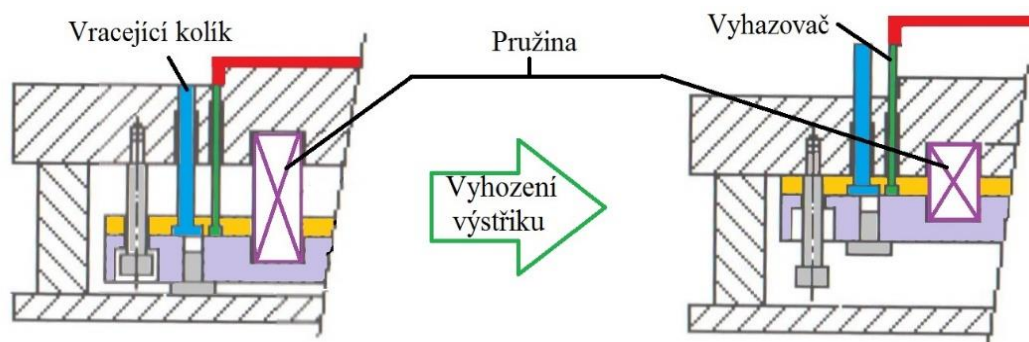
Obrázek 50 Vyhazovací kolíky [10]

Dále pak při konstrukci vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou je zapotřebí dbát na to, aby bylo zajištěno vyhození vtoků spolu s dílci, kde se používá k vyhození hlavního kuželového vtoku jeden kolík a pro rozvodný systém taveniny do forem je nutné použít více a to v závislosti na násobnosti formy a délce rozvodných kanálků.

Vyhazovací systém se neskládá pouze ze sešroubovaných desek a v nich vložených kolíků, je rovněž zapotřebí zajistit vrácení systému do původní polohy při uzavření formy. Mezi nejběžnější způsoby patří například použití vratných kolíků, což je znázorněno na obrázku 51, kdy při uzavírání formy dojde prvotně ke kontaktu vratného kolíku s pevnou částí formy, systém je vrácen zpět a rovněž nedojde k mechanickému poškození vyhazovacích prvků při kontaktu s pevnou částí formy. Dalším způsobem je použití pružin mezi deskami vyhazovačů a opěrnou deskou pohyblivé části, kdy při uzavírání formy vrací pružina systém vyhazovačů na původní místo. Častěji se lze setkat s kombinací obou konstrukčních návrhů, což je znázorněno na obrázku 52.



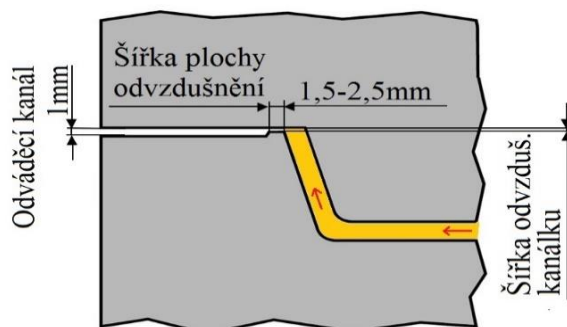
Obrázek 51 Systém vratného kolíku [19]



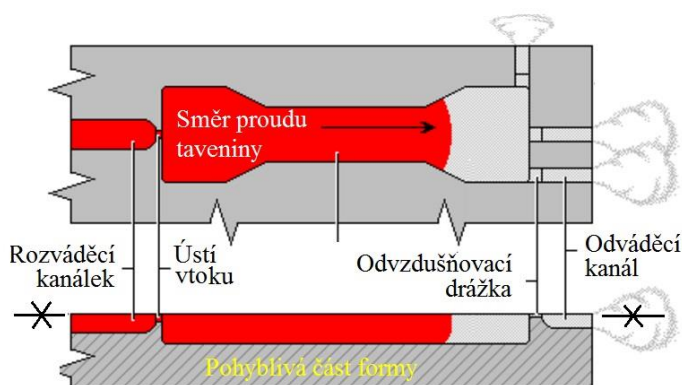
Obrázek 52 Kombinace vratného kolíku a pružiny [19]

- Odvzdušnění forem

Důležitou součástí každé vstřikovací formy je provedení správného odvzdušnění prostoru dutiny formy zhotovením tzv. odvzdušňovacích kanálků. Neodvedený vzduch z dutiny formy může vyvolat řadu problémů, které mají negativní vliv na konečnou kvalitu výstřiků. Uzavřený vzduch v dutině způsobuje především její nedostatečné vyplnění taveninou, což nadále může vyvolat vznik spálených míst vlivem adiabatické komprese plynu, jež svou teplotou po stlačení plast zapálí. Způsob odvodu vzduchu lze navrhnout již při konstrukci formy s využitím simulačních analýzy moldflow - plnění dutiny formy, kde lze zjistit poslední zaplněná místa dutiny formy při vstříknutí taveniny plastu. Následně v těchto místech by měli být navrženy odvzdušňovací kanálky, přibližný návrh je znázorněn na obrázku 53. Další možností je formu vyrobit bez odvzdušnění s následným odzkoušením a dodatečným vyhotovením odvzdušňovacích kanálků na základě defektů výstřiku, nicméně v praxi se již tento postup obvykle neprovádí.



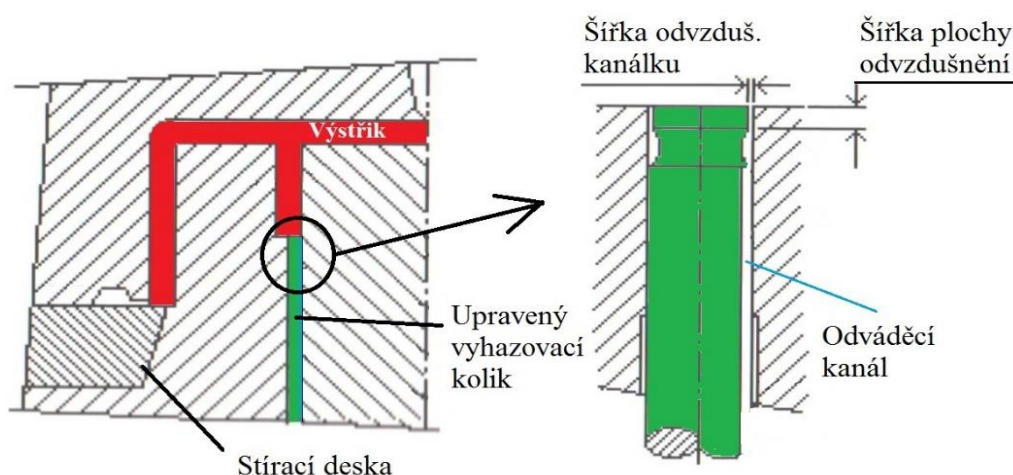
Obrázek 53 Schématický návrh odvzdušnění [44]



Obrázek 54 Odvzdušnění v dělicí rovině [43]

odvzdušnění může být řešeno jejich konstrukční úpravou, která je znázorněna na obrázku 55.

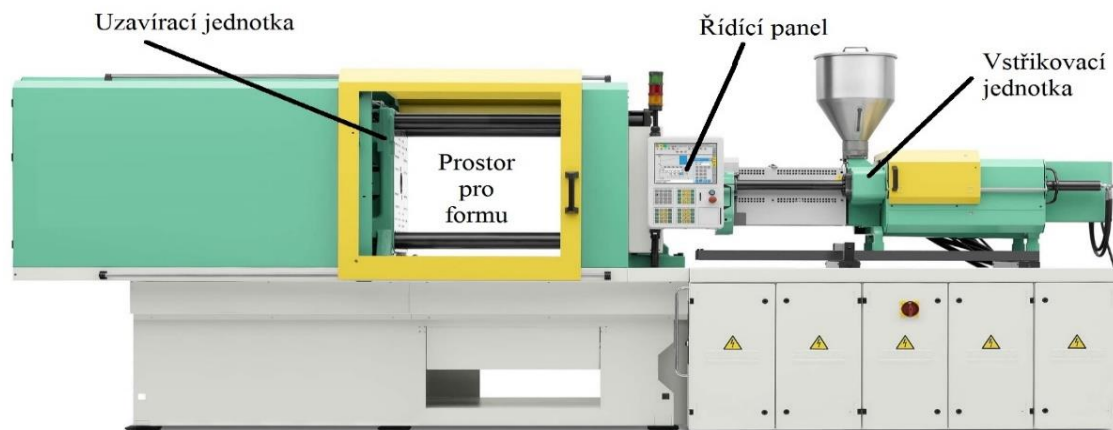
Konstrukce odvzdušnění na každé formě může být odlišná a to v závislosti na geometrii součástí, její zaformování a umístění vtoku. V případě kdy tavenina proudí směrem k dělicí rovině, je vhodné navrhnout místo pro odvzdušňovací drážku právě v ní (viz obr 54). Dalším příkladem může být případ kdy konstrukce formy a geometrie dílce způsobí, že tavenina bude jako poslední místa zaplňovat systém vyhazovacích kolíků, v tom případě



Obrázek 55 Odvzdušnění úpravou vyhazovacího kolíku [19]

3.4 Vstřikovací stroje [6], [31], [36], [45]

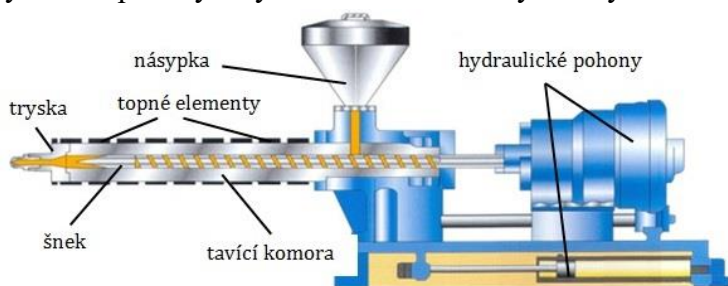
Vysoká produkce výrobků technologií vstřikování plastů není zásluhou jen kvalitních nástrojů – forem, ale i plně automatizovaných strojů. Vstřikovací stroje jsou masivní zařízení, mnohonásobně větší než forma pro vstřikovanou součást. Zařízení obsahuje několik základních částí, jejichž rozmístění je vyobrazeno na obrázku 56.



Obrázek 56 Horizontální vstřikovací stroj [6]

- Vstřikovací jednotka

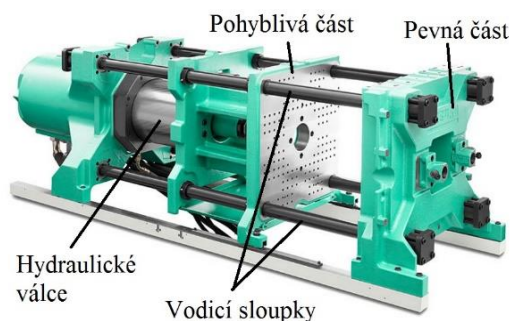
Úkolem vstřikovací jednotky je roztavení plastového granulátu na teplotně homogenní taveninu v krátkém čase. Po roztavení je přesně stanovená dávka hmoty vstřiknuta velkou rychlostí pod vysokým tlakem do dutiny formy. V dnešní době je v technologii vstřikování termoplastů nejvíce využívána šneková vstřikovací jednotka z důvodu dosažení nejvhodnější teplotní homogenity taveniny a její rychlosti natavení z výchozího granulátu. Schéma vstřikovací jednotky je znázorněno na obrázku 57.



Obrázek 57 Schéma vstřikovací jednotky [31]

- Uzavírací jednotka

Slouží nejenom k upnutí formy, ale i k jejímu sevření a rozevření. Tvoří ji mechanismy uzavírací, upínací a přidržovací. Hlavní požadavky na uzavírací jednotku jsou především co možná nejrychleji uzavírat a otevírat formu, zajištění uzavření formy při vstřikování a spolehlivou funkční podporu vyhazovacího systému formy pro vyhození výstřiků při jejím rozevření, kde vodící sloupky zajišťují přesnou rovnoběžnou polohu. Princip jednotky bývá hydraulický, hydraulicko-mechanický, případně elektro-nechanický.



Obrázek 58 Hydraulická uzavírací jednotka [6]

4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY [11], [15], [19], [37]

Správné řešení každé vstřikovací formy může být provedeno několika způsoby v závislosti na zkušenostech konstruktérů a na případných požadavcích zákazníků. Vhodnost konstrukčního řešení určuje především kvalita výstřiku, krátký výrobní cyklus, vyrobiteľnosť a opraviteľnosť formy. Vstřikovací forma bude vyrobena bez konstrukce prvků, které zajišťují vyrobiteľnosť závitů v díře jedné poloviny šneku. Jako odůvodnění lze uvést nutnost navržení dvou forem v případě jednonásobné formy a v případě vícenásobné formy (pro obě poloviny šneku) se jedná nesymetrické poloviny formy a konstrukční složitost prvků zhotovujících závit, jež by se přímo projeví na celkových nákladech. Následné zhotovení závitů je po vystříknutí součásti jednoduché.

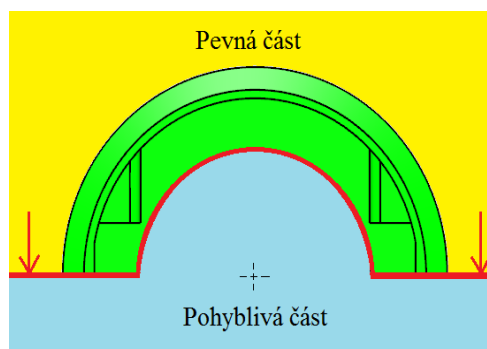
4.1 Základní prvky formy [15], [36],

Před prvotním konstrukčním návrhem formy je zapotřebí znát několik parametrů, které určují následnou konstrukci formy. Je zapotřebí znát polohu dělicí roviny pohyblivé a pevné části formy, dalším důležitým prvkem je umístění vtokového ústí a spolu s tím i následná volba vtokové soustavy.

- Zaformování součásti

Zvolení optimálního způsobu zaformování výstřiku neboli volbu dělicí roviny pevné a pohyblivé části formy, je základním prvkem pro její následný návrh. Správně navržené zaformování musí zajistit vystříknutému dílci, při jeho ztuhnutí a rozevření formy, polohu v pohyblivé části formy. Dělicí rovina by optimálně neměla zasahovat do pohledových a funkčních míst výstřiku. Dalším kritériem, které je nutné zohlednit, je vyrobiteľnosť tvarových prvků v dutině formy.

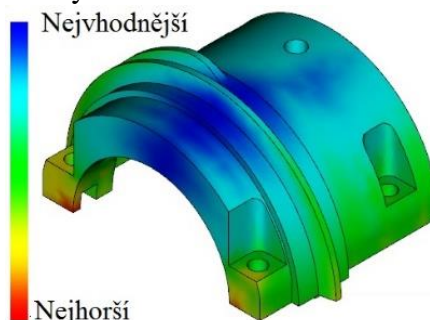
Z geometrie zadané součásti je zřejmé, že nejvhodnější dělicí rovina bude na ploše styku dvou polovin šneku, vyobrazení dělicí roviny je na obrázku 59. Zaformování výstřiku je voleno z tvaru součásti tak, že dutina v pevné části formy vytváří vnější geometrii a naopak pohyblivá vnitřní geometrii. Tohle uspořádání umožňuje polovině šneku spolu s působícím smrštěním při tuhnutí, které je orientováno směrem k ose šneku, zůstat po rozevření formy na pohyblivé části formy.



Obrázek 59 Umístění dělicí roviny

- Umístění vtoku

Optimálně zvolené ústí vtoku má podstatný vliv na výslednou kvalitu výstřiku a na zejména celkový koncept formy. Volba vtokového ústí je obvykle určována dle zkušeností konstruktéra s využitím simulačních analýz. Následně proto byla provedena simulace určení vhodnosti vtoku v programu Autodesk Moldflow Adviser 2017. Výsledky analýzy jsou zobrazeny na obrázku 60, kde je patrné, že umístění je nejvhodnější volit mimo dělicí rovinu, a to v oblasti, která se nachází přibližně ve středu poloviny šneku. Z funkčního hlediska součásti je ale zřejmé, že ústní vtoku nemůže být zvoleno na funkčních prvcích (ozubení). Z tohoto důvodu tak bylo ústí posunuto na oválnou část, směrem k díře pro šroub (viz obr. 61).

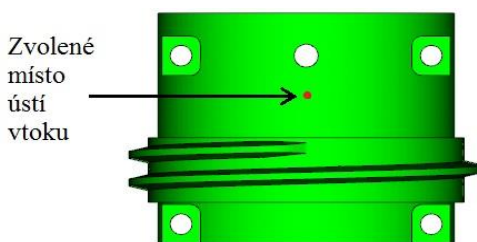


Obrázek 60 Analýza vhodnosti umístění vtoku

Tohle umístění umožní tavenině rovnoměrné zatečení do všech nejvzdálenějších koutů dutiny, a to přibližně ve stejnou chvíli a umožní zhotovení jednoduchého odvzdušnění, jež bude navrženo v dělicí rovině formy.

- Zvolení vtokové soustavy

Volba typu vtokové soustavy se odvíjí především na velikosti výrobní série, kde vzhledem k zadané velikosti vychází cenová relace horké soustavy v poměru s cenou objemu vtokového odpadu v případě studené vtokové soustavy přibližně stejně. Další posuzované kritérium souvisí se zvoleným zaformováním a umístěním vtoku, kdy v případě studené soustavy by musela být navržena složitější třídesková forma s odtrháváním vtokových kanálků. Na základě těchto kritérií je zvolena horká vtoková soustava.



Obrázek 61 Volba vtokového ústí

4.2 Výpočet technologických parametrů formy [11], [15], [19], [37], [44], [46]

Součástí konstrukce formy je i následný výpočet důležitých vstřikovacích parametrů, které nám napomáhají určit celkovou dobu výroby požadované série a taky zejména umožňují vhodné zvolení vstřikovacího stroje.

- Objem poloviny zadaného šneku

Jedná se o základní a důležitý parametr pro vstřikování. Objem poloviny šneku byl zjištěn za pomoci 3D modelu v programu CATIA V5R20, druhá polovina měla totožný objem.

$$V = 27,9 [cm^3] = 2,79 \cdot 10^{-5} m^3$$

- Hmotnost součásti

Výpočet hmotnosti dílce se provádí pomocí následujícího vztahu:

$$m = \rho \cdot V [g], \quad (4.1)$$

Kde: ρ – hustota [g/cm^3]

$$m = 1,38 \cdot 27,9 = 38,5 g$$

- Určení vstřikovací tlaku

Stanovení vstřikovacího tlaku probíhá na základě výpočtu minimálního nutného plnicího tlaku pro zajištění zaplnění tvarové dutiny formy. Minimální tlak pro zaplnění závisí na délce toku taveniny, která je vyobrazena na obrázku 62.

Naměřená délka je přibližně:

$$f_c = 58 mm$$

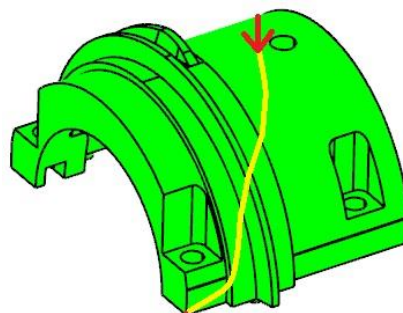
Výpočet potřebného minimálního vstřikovacího tlaku je:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} [bar], \quad (4.2)$$

Kde: K_f – faktor schopnosti tečení [bar/mm],

f_c – maximální délka toku taveniny [mm],

s – tloušťka stěny [mm].



Obrázek 62 Maximální délka toku taveniny

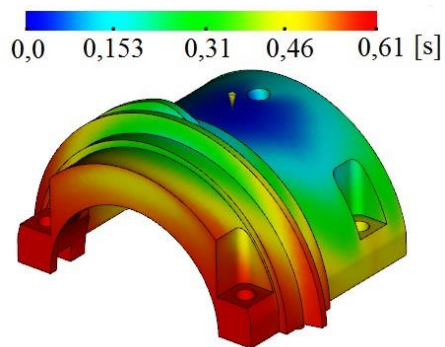
$$p_f = 3 \cdot 1,8 \cdot 58 \cdot 4,5^{-1,6} = 30,8 \text{ bar} = 3,08 \text{ MPa.}$$

$$p_v > p_f,$$

$$(70 - 120) > 3,08 \Rightarrow \text{voleno } 85 \text{ MPa.}$$

- Předpokládaná doba vstřikovacího cyklu

Celková doba vstřikovacího cyklu se skládá z několika fází. Jednotlivé fáze již byly popsány v kapitole 3.2. Pro výpočet celkové doby cyklu je tedy nutné znát dílčí doby jednotlivých fází. Pro jejich zjištění je využita analýza plnění dutiny formy (viz obr. 63), celý proces plnění je vložen do přílohy 4 a chlazení na teplotu odformování (viz obr. 64) v simulačním programu Autodesk Moldflow Adviser 2017.



Obrázek 63 Simulace doby plnění dutiny

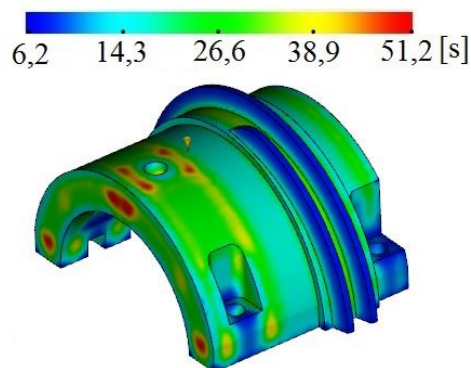
- Předpokládaná doba plnění

$$t_v = 0,61 \text{ [s]}$$

- Předpokládaná doba chlazení

$$t_{chl} = 51,2 \text{ [s]}$$

Princip výpočtu doby chlazení v simulačním programu je proveden na základě ideálního odvodu tepla, tudíž je pravděpodobné, že může být ve skutečnosti doba chlazení mírně vyšší, nicméně dle simulační analýzy je evidentní velmi odlišný čas poklesu teploty v různých částech dílce, je to především způsobeno nevhodnou geometrií zadané součásti, konkrétně příliš rozdílnou tloušťkou stěn.



Obrázek 64 Simulace doby chlazení výstřiku

- Předpokládaná doba celkového vstřikovacího cyklu

$$t_c = t_v + t_{chl} + 3 \text{ až } 4 \text{ [s]}. \quad (4.3)$$

Kde: t_v – doba plnění [s],

t_{chl} – doba chlazení [s].

$$t_c = 0,61 + 51,2 + 4 = 55,71 \text{ s.}$$

- Termínová násobnost

Doba výroby šneku by neměla přesáhnout 2 měsíce z důvodu maximálního využití vstřikovacího stroje. Násobnost je určena dle vztahu 4.1, termín dodání je přepočítán na počet hodin ve tříměnném nepřetržitém provozu. Koeficient využití času je volen 0,8.

$$n_1 = \frac{70000 \cdot 55,71}{1440 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 0,94 \Rightarrow 2.$$

Termínová násobnost pro zadanou součást vyšla přibližně pro jednonásobnou formu, ale vzhledem k tomu, že je šnek dvoudílný, tak byla zvolena násobnost dvojnásobná (jedna dutina formy pro každou polovinu).

- Vstřikovací objem taveniny

Výpočet velikosti dávky vstřikovaného plastu je dán následujícím vztahem:

$$V_D = n_1 \cdot \frac{m}{K_a} [cm^3], \quad (4.4)$$

Kde: K_a – faktor navýšení objemu taveniny (0,7 - 0,9) [-]

$$V_D = 2 \cdot \frac{38,5}{0,8} = 96,3 \text{ cm}^3.$$

- Vstřikovací rychlost

Výpočet je proveden s využitím hodnoty simulační analýzy plnění dutiny formy z předpokládané její doby plnění a je proveden dle následujícího vztahu:

$$V_S = \frac{V_D}{t_v} [cm^3/s], \quad (4.5)$$

$$V_S = \frac{96,3}{0,61} = 157,8 \text{ cm}^3/s$$

- Plastikační kapacita vstřikovacího stroje

Pro určení hodnoty plastikační kapacity byl použit následující vzorec:

$$Q_p = \frac{4 \cdot n_1 \cdot \rho \cdot V}{t_c} [\text{kg/hod}], \quad (4.6)$$

$$Q_p = \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,38 \cdot 27,9}{55,71} = 5,53 \text{ kg/hod.}$$

- Tvářecí tlak

Pro určení tvářecího tlaku byla provedena simulační analýza v Autodesk Moldflow Adviser 2017. Byla zjištěna následující hodnota:

$$p_A = 80 \text{ MPa}, \quad (4.7)$$

- Uzavírací síla

Dalším z potřebných parametrů pro konstrukci vstřikovací formy je zapotřebí určit potřebnou uzavírací sílu vstřikovacího stroje, která je závislá na velikosti průměru plochy tvarové dutiny formy do dělicí roviny. Velikost byla určena za použití softwaru, ve kterém byl návrh formy zpracováván:

$$S_{pr} = 3052,75 \text{ mm}^2,$$

Uzavírací síla byla následně spočítána dle vztahu:

$$F_U = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot S_{pr} \cdot n_1 \cdot p_A [\text{kN}], \quad (4.8)$$

Kde: S_{pr} – plocha průmětu do dělicí roviny [mm],

p_A – tvářecí tlak [kN].

$$F_U = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 3052,75 \cdot 2 \cdot 80 = 537,3 \text{ kN}$$

- Vyhazovací síla

Výpočet přesné vyhazovací síly je závislý na mnoha složitě zjistitelných faktorech, a to zejména na geometrii výstřiku, kde by bylo nutné pro každý tvarový prvek, který je přilnutý na tvárniku spočítat vyhazovací sílu. Pro její určení bude tedy spočítána orientačně pro zjednodušenou geometrii součásti (viz obr. 65) a navýšena o 30%, vzhledem ke tvarové

složitosti vnitřní geometrie zadané součásti. Vyhazovací síla pro dvojnásobnou formu je tedy určena dle následujícího vztahu:

$$F_v \approx f_{tr} \cdot S_{TV} \cdot p_T \cdot 1,3 \cdot 2 [N], \quad (4.9)$$

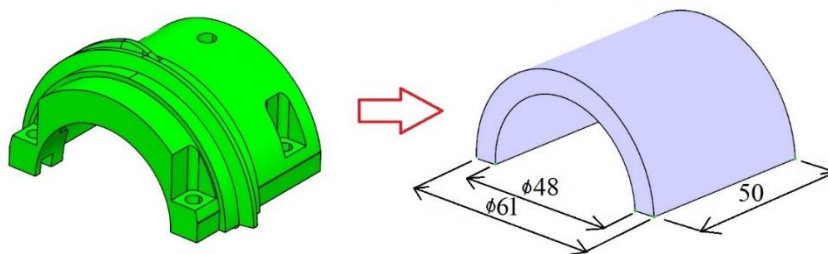
Kde: f - koeficient tření mezi plastem a kovem, voleno z tab. 2,
 S_{TV} - plocha zjednodušeného výstřiku přilnutá na tvárník [mm²],
 p_T - tlak mezi plastem a tvárníkem [MPa].

Určení zjednodušené plochy výstřiku přilnuté na tvárník bylo určeno za pomoci následující rovnice:

$$S_{TV} = \frac{\pi \cdot d_{nh} \cdot v_{nh}}{2} [\text{mm}^2], \quad (4.10)$$

Kde: d_{nh} – vnitřní průměr nahrazené geometrie poloviny šneku [mm],
 v_{nh} – výška nahrazené geometrie poloviny šneku [mm].

$$S_{TV} = \frac{\pi \cdot 48 \cdot 50}{2} = 3769,9 [\text{mm}^2].$$



Obrázek 65 Zjednodušená geometrie výstřiku

Dále tlak vyvolaný tahovým napětím mezi plastem a tvárníkem je spočítán dle následujícího vztahu:

$$p_T = \sigma_t \cdot \frac{S_M}{r_c} [\text{MPa}], \quad (4.11)$$

Kde: σ_t - tahové napětí mezi výstřikem a tvárníkem [MPa],
 S_M - tloušťka stěny zjednodušeného modelu výstřiku [mm],
 r_c - poloměr tvárníku pro zjednodušený výstřik [mm].

Napětí mezi tvárníkem a výstřikem je vyvoláno smrštěním a je rovněž závislé na teplotě materiálu, obě hodnoty jsou převzaty z materiálového listu v příloze 3. Následně je tahové napětí určeno dle Hookova zákona vztahem:

$$\sigma_t = \varepsilon \cdot E_{POM} [\text{MPa}], \quad (4.12)$$

Kde: ε - smrštění (volena střední hodnota mezi 1,6 a 1,9),
 E_{POM} - Youngův modul pružnosti POM při teplotě T_v [MPa].

$$\sigma_t = 0,0175 \cdot 800 = 14 \text{ MPa}.$$

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi plastem a tvárníkem je:

$$p_T = 14 \cdot \frac{6,5}{24} = 3,8 \text{ MPa}$$

Přibližná hodnota vyhazovací síly

$$F_v \approx 0,21 \cdot 3769,9 \cdot 3,8 \cdot 1,3 \cdot 2 = 7821,8 \text{ N}$$

- Odvzdušnění

Při návrhu odvzdušňovacích kanálků je možné zvolit některé rozměry dle doporučených hodnot pro konkrétní plast, kde maximální výška drážky je určena dle tabulky 6, ale rovněž je nutné spočítat celkový průřez kanálku pro odvedení vzduchu z dutiny formy. Celkový průřez odvzdušnění je dán hodnotou vypočtenou z následujícího vztahu:

$$f = 2,5 \cdot m_{vz} \cdot \frac{\sqrt{T_1}}{P_o \cdot t_v} [m^2], \quad (4.13)$$

Kde: m_{vz} - hmotnost vzduchu v dutině formy [kg],
 T_1 - teplota stlačeného vzduchu [°K],
 P_o - počáteční tlak vzduchu ve formě [ata],
 t_v - doba plnění formy taveninou [s].

Hmotnost vzduchu byla určena dle vztahu:

$$m_{vz} = V \cdot \rho_{vz} [kg], \quad (4.14)$$

Kde: ρ_{vz} - hustota vzduchu při 20°C [kg/m³],

$$m_{vz} = 2,79 \cdot 10^{-5} \cdot 1,21 = 3,35 \cdot 10^{-5} kg.$$

Teplota stlačeného vzduchu je určena podle vztahu:

$$T_1 = T_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{n_p-1}{n_p}} [°K], \quad (4.15)$$

Kde: P_1 - tlak stlačeného vzduchu v uzavřené dutině formy [MPa],
 n_p - polytropický koeficient (volen 1,15).

$$T_1 = 293,15 \cdot \left(\frac{75}{0,1}\right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 695,18 [°K]$$

Celkový průřez odvzdušňovacího kanálku bude:

$$f = 2,5 \cdot 3,35 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{694,83}}{1 \cdot 10^4 \cdot 0,61} = 3,62 \cdot 10^{-7} m^2 = 0,362 mm^2$$

Celý průřez odvzdušňovacího kanálku nemůže být koncentrován na jediné místo v dutině formy, optimálně je vhodné navrhnout několik odvzdušňovacích kanálků v dutině.

- Optimální průměr šneku vstřikovacího stroje

Průměr šneku je volen dle standardizovaných rozměrů (například průměry 20, 5, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80 a 90). Dále pro správnou volbu průměru šneku je však nutné dbát ohled na následující podmínku:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D}, \quad (4.16)$$

Kde: D_S - Průměr šneku vstřikovacího stroje [mm],

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{96,25} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{96,25}.$$

$$34,37 < D_S < 48,12 \Rightarrow \text{zvolený průměr šneku je } 40 \text{ mm.}$$

- Délka dráhy šneku vstřikovacího stroje

Délka dráhy pohybu šneku je závislá na vstřikovaném objemu taveniny a je dána následujícím vztahem:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_S^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_S \Rightarrow L_S = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_S^2} [\text{mm}], \quad (4.17)$$

Kde: L_S – délka dráhy šneku [mm],

$$L_S = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 96,25}{\pi \cdot 40^2} = 76,6 \text{ mm}.$$

Pro dodržení optimálního poměru mezi průměrem šneku a jeho dráhou je nutné dodržet podmínku z obrázku 37.

$$1 \cdot D_S < L_S < 3 \cdot D_S, \quad (4.18)$$

$$1 \cdot 40 < 76,6 < 3 \cdot 40$$

$$40 < 76,6 < 120 \Rightarrow \text{podmínka splněna.}$$

- Otáčky šneku vstřikovacího stroje při plastikaci

Otáčky šneku jsou závislé na jeho maximální obvodové rychlosti a průměru. Následně jsou vypočítány dle vztahu:

$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v_S}{\pi \cdot D_S} [\text{min}^{-1}], \quad (4.19)$$

Kde: v_S – maximální obvodová rychlost šneku (viz tab. 4) [m/s],

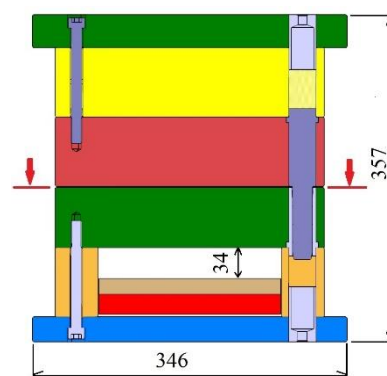
$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{\pi \cdot 40} = 95,5 [\text{min}^{-1}]$$

4.3 Konstrukce vstřikovací formy [11], [15], [19], [44]

Optimálních řešení konstrukcí vstřikované formy existuje celá řada, následně pak záleží na konstruktérovi, kterou z možností zvolí jako nejvhodnější jak z hlediska její konstrukční složitosti, tak z případných limitních cenových nákladů pro její výrobu. Při návrhu vstřikovací formy je zapotřebí dodržet určitý postup. Nejprve je nutné určit zaformování součásti, dělicí rovinu formy a ústí vtoku, což je popsáno v kapitole 4.1. Následně jsou pro výstřik navrženy tvárník a tvárnice, jenž jsou zapuštěny do tvarových desek pevné a pohyblivé části formy, a to jak jednak z důvodu vysoké ceny použitých kvalitnějších nástrojových ocelí než u desek rámu, tak i z hlediska opravitelnosti a snadnější výrobitelnosti.

4.3.1 Základní rám [10], [11], [18], [19], [44]

Vstřikovací forma je obvykle složena z několika desek, které jsou obvykle normáliemi a tvoří základní rám formy. Výrobou těchto normálí o různých rozměrech se zabývá a specializuje několik firem, pro tento případ jsou zvoleny desky od společnosti Hasco. Zobrazení navrženého rámu vstřikovací formy je na obrázku 66. Rám je tvořen dvěma upínacími deskami (obdélníkového půdorysu 346 mm x 396 mm), deskou horké vtokové soustavy, deskou tvárníků, deskou pro tvárnice, přidržovací a hlavní vyhazovací deskou a v poslední řadě dvěma rozpěrami (desky s výjimkou upínacích jsou obdélníkového půdorysu 296 mm x 396 mm).



Obrázek 66 Základní rám formy

- Volba materiálu základních částí formy

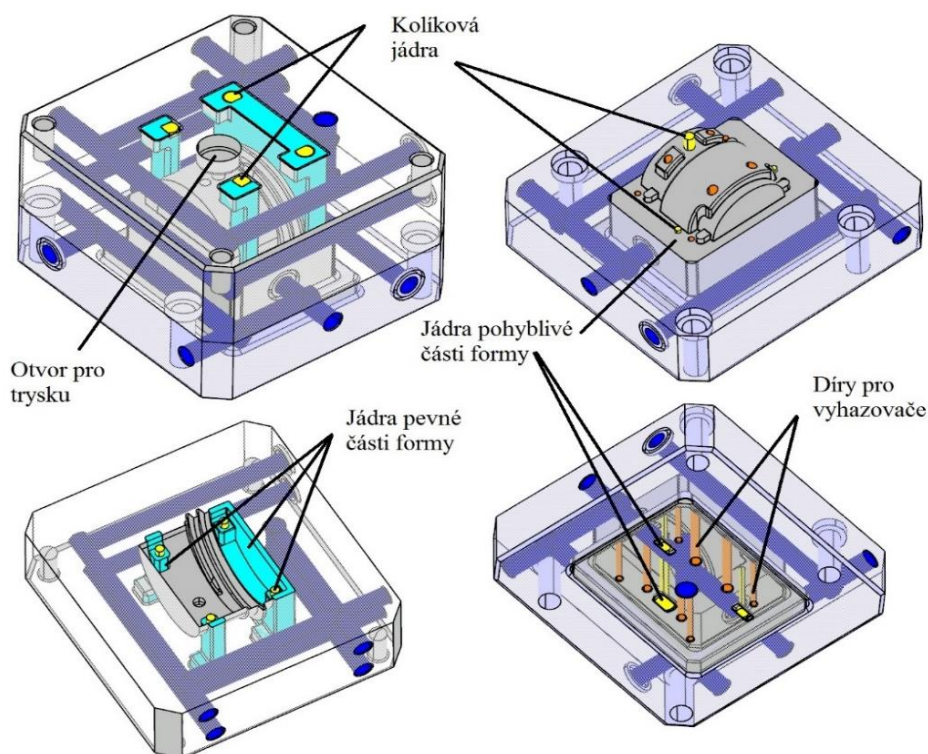
Desky tvořící rám formy jsou obvykle ze zušlechtěné oceli pro zaručení jejich tvarové stálosti a pevnosti formy. Rovněž musí být z dobře obrobitelné oceli i v zušlechtěném stavu. Dalšími kritérii pro volbu materiálu desek je dobrá houževnatost, pevnost, odolnost proti rázům a je dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu. Seznam zvolených materiálů pro desky základního rámu formy je uveden v tabulce 6.

Tab. 6 Materiály pro základní části formy [1],[2]

Část rámu formy	Materiál	dle DIN EN ISO 4957
Upínací desky	1.1730	C45U
Nadstavbová deska pro horkou vtokovou soustavu	1.1730	C45U
Tvarová deska pevné části formy	1.2312	40CrMnMoS8-6
Tvarová deska pohyblivé části formy	1.2312	40CrMnMoS8-6
Rozpěry	1.1730	C45U
Desky vyhazovacího systému	1.1730	C45U

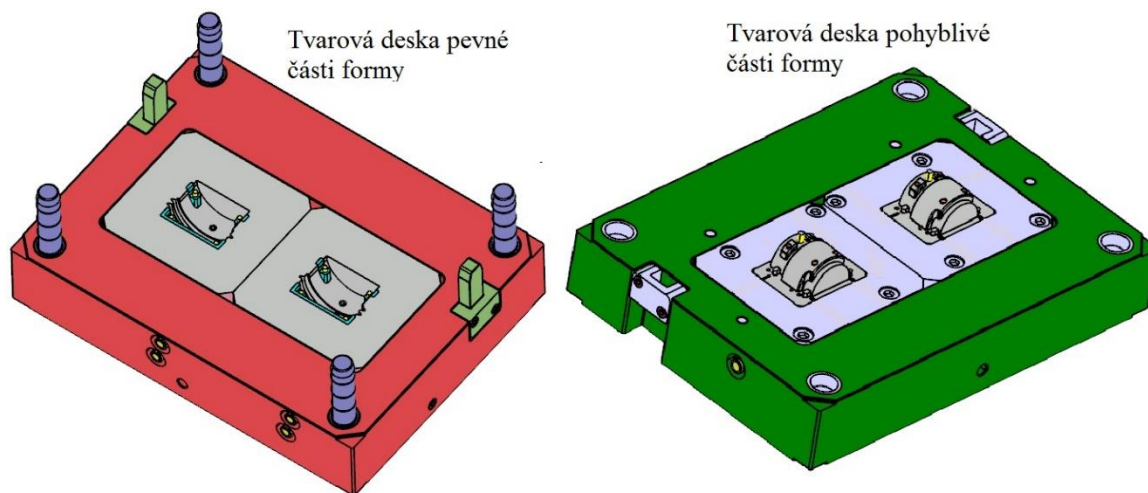
4.3.2 Tvarové vložky dutiny formy [11], [15], [19], [37], [44]

Pro zadanou geometrii součásti není možné zhotovit tvárník a tvárnici z jednoho kusu polotovaru materiálu. Proto je nutné navrhnout tvarové vložky (jádra) zejména pro vnitřní dutiny, které jsou vyobrazeny na obrázku 67 spolu se znázorněnými dírami pro vyhazovací kolíky a sítí kanálků pro temperování. Tvarové jádra jsou nutná i z hlediska opravitelnosti dutiny formy. Tvarové vložky mohou obsahovat jak díry pro vyhazovací kolíky, tak mohou mít i temperační systém (pokud nejsou příliš rozměrově malá). Základní rozměry tvárníku a tvárnice při zaformování součásti je 150 mm x 140 mm x 100 mm.



Obrázek 67 Složení tvarové dutiny

Tvárník a tvárnice jsou vloženy do dutin základních rámových desek vstřikovací formy a jsou zajištěny imbusovými šrouby. Na dutinu formy jsou kladeny vysoké nároky na otěruvzdornost a tvarovou stálost při dobré obrobitelnosti. Tvarové vložky je nutné tedy i zakalit na obvykle nejvyšší možnou dosažitelnou hodnotu pro zvolený materiál na jejich výrobu. Zaformování tvárníku a tvárnice v deskách formy je znázorněno na obrázku 68.



Obrázek 68 Zaformování tvárníků a tvárnice v deskách vstřikovací formy

- Volba materiálu

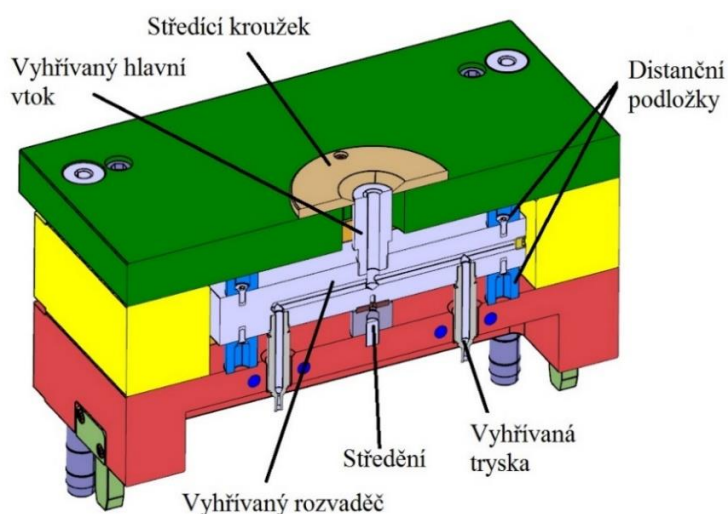
Pro výrobu tvárníku a tvárnice včetně tvarových jader je zvolen materiál 1.2083 (X42Cr13 dle DIN EN ISO 4957), což je nástrojová legovaná ocel vhodná i pro práci za tepla, jenž se přednostně využívá pro tvarové dutiny v technologii zpracování plastů. Chemické složení oceli je vloženo do tabulky 7.

Tab. 7 Chemické složení oceli 1.2083 [49]

Prvek	C	Si	Mn	P (max.)	S (max.)	Cr
Obsah v [%]	0,38 – 0,45	1,00	1,00	0,030	0,030	12,5 13,5

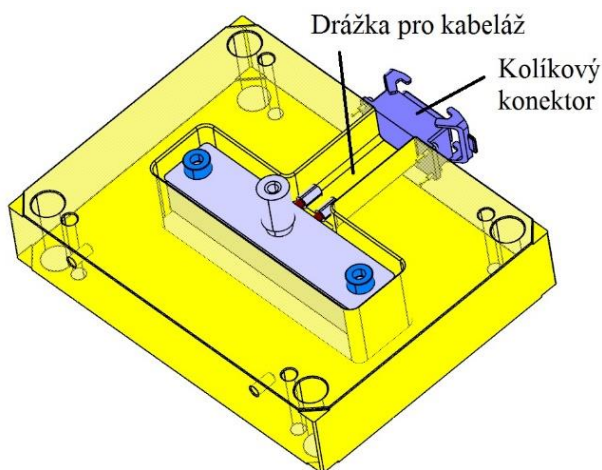
4.3.3 Horká vtoková soustava [15], [19], [39], [40]

Jedná se o vytápěnou sestavu určenou pro rozvod taveniny plastu od vstřikovací jednotky stroje po dutinu formy převážně vloženou do tzv. nadstavbové desky, která je mezi upínací a tvarovou deskou pevné části formy. Hlavní části a zaformování jsou znázorněny na obrázku 69. Do desky je mimo jiné vytvořena dutina ve tvaru horkého systému s příslušnou mezerou (obvykle 8 – 15mm), a to od stěn obklopujících vytápěnou soustavu pro snížení přenosu tepla. Vzdálenost mezi upínací deskou a deskou tvárníku je vymezena distančními podložkami.

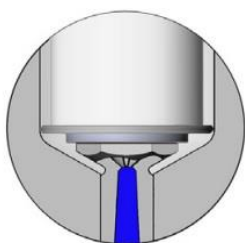


Obrázek 69 Zaformování horké vtokové soustavy

Celá soustava byla zvolena od firmy Syventive molding solutions, kde po zadání příslušných parametrů byly vygenerovány modely trysky, hlavního vtoku a rozvaděče. Poloha hlavního vtoku soustavy musí být vycentrována doporučeným středěním, což je znázorněno rovněž na obrázku 69. Celou soustavu je tedy nutné připojit ke zdroji elektrické energie, jelikož je odporově vytápěna. Přívod elektrické energie je zajištěn pomocí kolíkového konektoru od firmy Meusburger, jež je opatřen jistícími pákami zabráňujícím odpojení. Pro kabeláž od soustavy po konektor je navržena drážka (viz obr. 70) v příslušné desce.



Obrázek 70 Deska horké vtokové soustavy



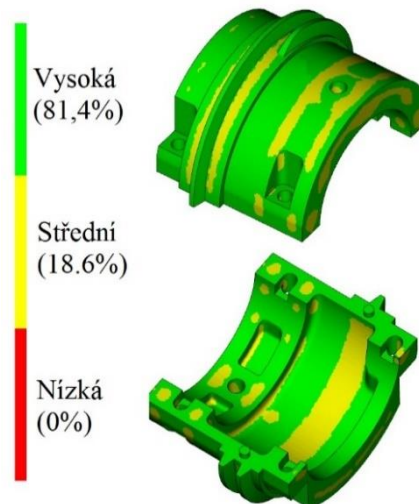
Obrázek 71 Ústí trysky [39]

Trysky jsou zvoleny na základě velikosti vstřikované dávky, typu plastu dle uspořádanosti makromolekul (semikrystalické) a jeho viskozity. Na základě těchto kritérií byla vybrána tryska s otevřeným torpédovým vtokem a prodlouženým úzkým ústím (viz obr. 71) o průměru 1,6 mm, jenž má za následek vytvoření mini kuželového vtoku, který je nutno po odformování součásti manuálně odstranit. Prodloužené ústí bylo zvoleno z důvodu příliš velkých průměrů u ústí jakýchkoliv trysek, jenž nemohli být optimálně zaformovány do tvárníku v pevné části formy aniž by narušili stěnu dutiny formy při zvoleném místě vtoku.

4.3.4 Návrh temperačního systému [11], [15], [19], [36], [44]

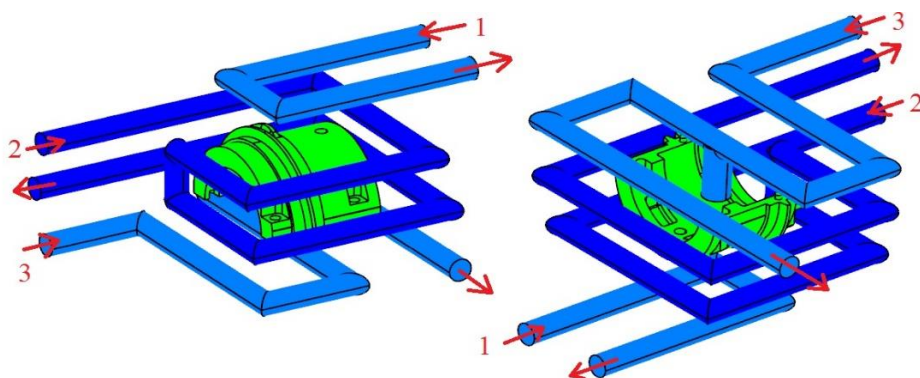
Pro temperaci formy je navržena vlastní síť okruhů kanálků pro každou dutinu formy, kde hlavním cílem je dosáhnout co nejrovnoměrnějšího rozložení teplot při procesu chlazení a jako podklad pro návrh systému byla využita simulační analýza kvality chlazení v programu Autodesk Moldflow Adviser 2017, která je zobrazena na obrázku 72, simulace pracuje na principu rovnoměrného odvodu tepla ze stěn výstřiku, z analýzy je zřejmé že stěny s větší tloušťkou se hůře chladí.

Síť kanálků pro výstřik je tvořena třemi okruhy, které jsou znázorněny na obrázku 73, spolu s naznačeným směrem proudění temperačního média. Okruhy '1' a '2' jsou v pevné části formy, přičemž okruh '2' přednostně zabráňuje nežádoucímu přenosu tepla z horké vtokové soustavy, především trysky. Okruh '3' je navržen pro pohyblivou část a mimo síť kanálků obsahuje plochou přepážkovou zátku. Pro zvolení průměru kanálků je určujícím kritériem tloušťka stěny výstřiku, ale jelikož je velmi proměnlivá (tloušťka je v intervalu od 2 mm do 8 mm), tak byla zvolena střední hodnota průměru 10 mm. Rozmístění kanálku opět podléhalo kritériím uvedených v tabulce 5, kde bylo nutné dodržet osovou vzdálenost kanálků jak vůči sobě, tak i



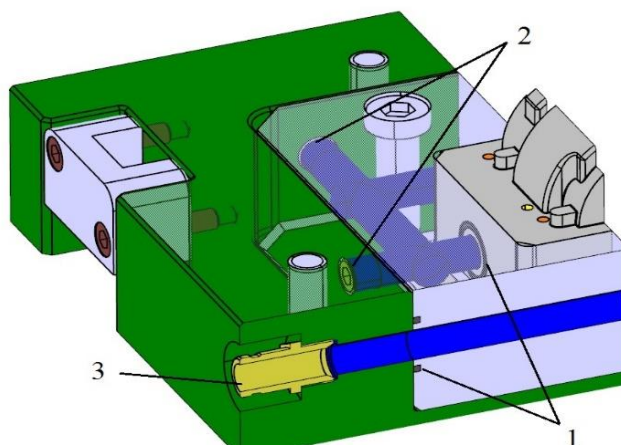
Obrázek 72 Simulace kvality chlazení

vzdálenost vůči stěně dutiny pro výstřik. Pro ostatní konstrukční prvky je nutné dodržet vzdálenost od stěny kanálku po stěnu dalšího prvku přibližně 6mm.



Obrázek 73 Navržený temperační systém

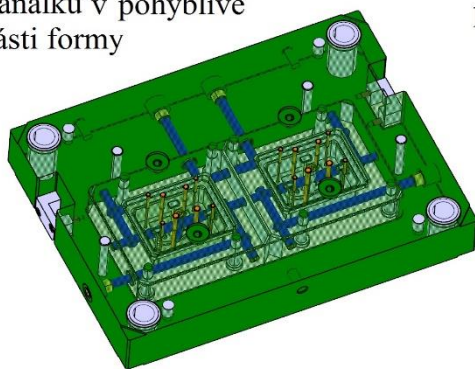
Při konstrukci temperačního systému je nutné utěsnit kanálky (viz obr. 74) například při přechodu z desky tvárníku do samotného tvárníku pryžovým O-kroužkem '1' a dále pro utěsnění vyvrtané spojovací díry je možné použít zátku '2'. Pokud by v těchto místech chybělo těsnění, tak by mezi deskami vznikaly vlhké místa, což může mít vliv na funkčnost formy a rovněž by to mohlo mít nežádoucí vliv na kvalitu výstřiku. Vstup a výstup temperační kapaliny je řešen přes zaformovanou přípojku rychlospojky '3', přípojky je nutné zapustit do desek, aby nedošlo k jejich poškození případně uražení při manipulaci s formou.



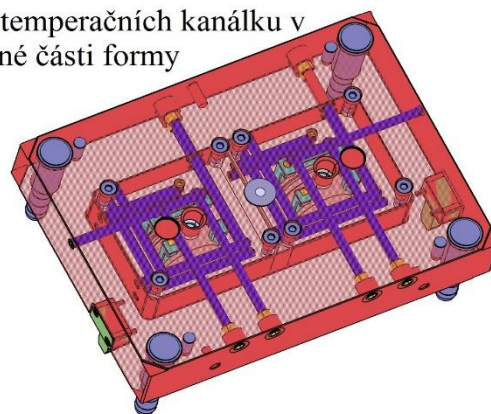
Obrázek 74 Těsnění temperačních kanálků

Ideální odvod tepla z formy by měl být teoreticky řešen jen temperačním systémem. Nicméně toho nelze nikdy dosáhnout, skrze únik tepla do okolí, stroje apod. Kompletní řešení temperačních sítí je znázorněno na obrázku 75.

Sít' temperačních kanálků v pohyblivé části formy



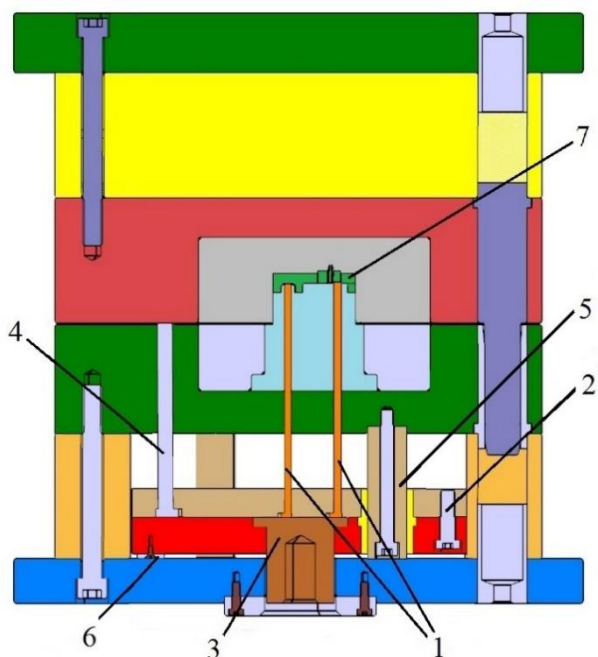
Sít' temperačních kanálků v pevné části formy



Obrázek 75 Sítě temperačních kanálků

4.3.5 Vyhazovací systém [11], [15], [19], [37], [44], [47]

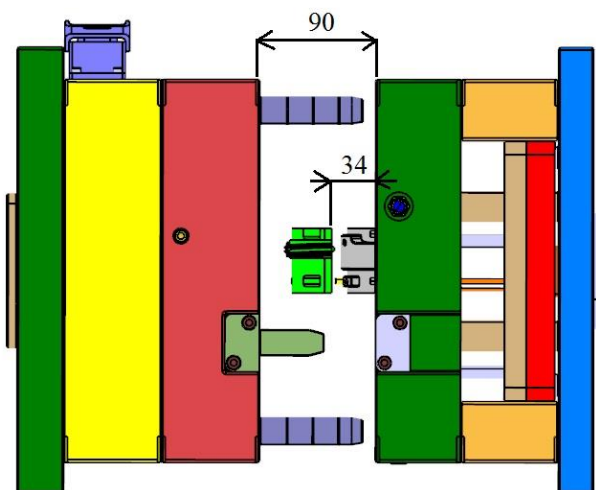
Pro účinné a bezpečné vyjmutí výstřiku z pohyblivé části formy je využit vyhazovací systém kolíků různých průměrů a celý vyhazovací systém je znázorněn na obrázku 75.



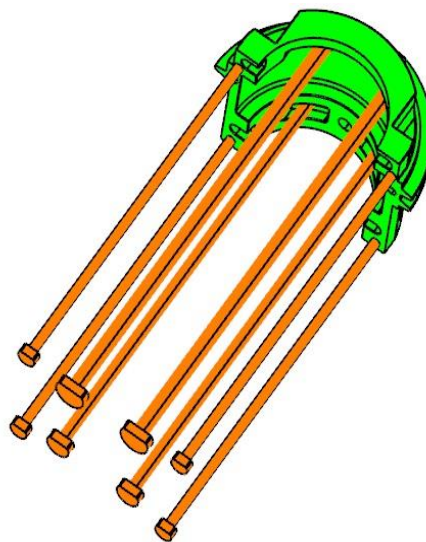
Obrázek 76 Vyhazovací systém

Znázornění rozmístění kolíků na vnitřních plochách výstřiku je možné vidět na obrázku 76. Celý vyhazovací systém je složen z několika součástí, kde '1' označuje kolíkové vyhazovače zaformované ve vyhazovacích deskách, které jsou spojeny šrouby '2'. Na systém je přenášena vyhazovací síla přes závitovou vložku vyhazovacího paketu '3' a přesné vedení systému je definováno podpěrným vodícím čepem '5' umístěným v kluzném pouzdře. Zpětné zasunutí systému může být případně realizováno přes vratný kolík '4', který může sloužit i jako anti-kolizní kolík pro zabránění zaboření vyhazovacích kolíků do tvárníku v pevné části formy. Desky, které slouží pro zaformování vyhazovačů, by neměly dosedat na upínací desku. Vymezení určité vzdálenosti je řešeno za pomoci distančních podložek '6'. Celý systém slouží k vyhození výstřiků '7'.

Zdvih vyhazovacího systému je 34 mm, což je plně dostačující vzhledem ke geometrii vyráběné součásti. Pro bezpečné vyjmutí z formy musí být dodržena minimální hodnota rozevření formy, která je stanovena s dostatečnou rezervou na 90 mm, což je znázorněno na obrázku 77.



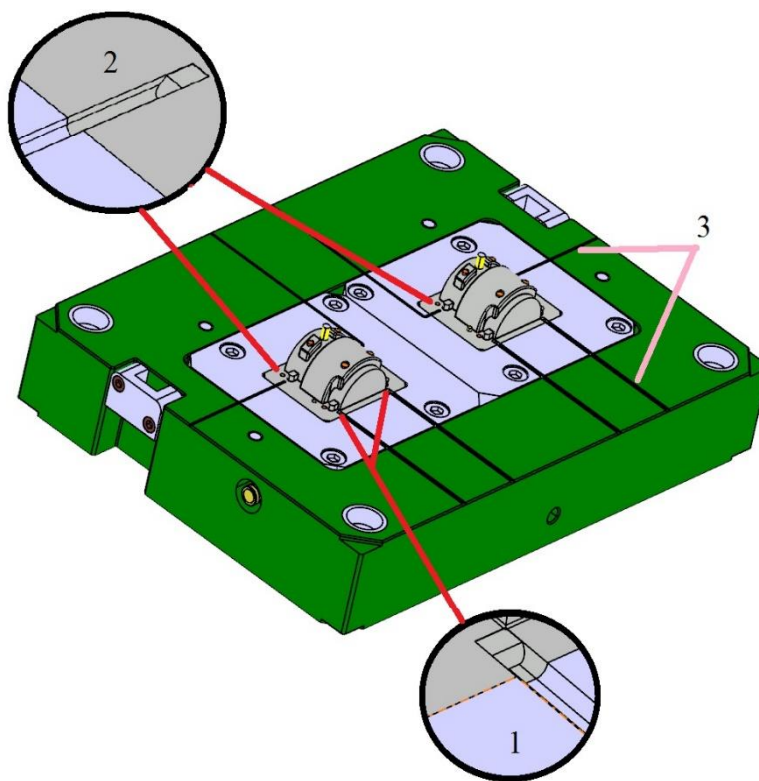
Obrázek 77 Znázornění rozevření formy pro vyhození vyráběné součásti



Obrázek 78 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku

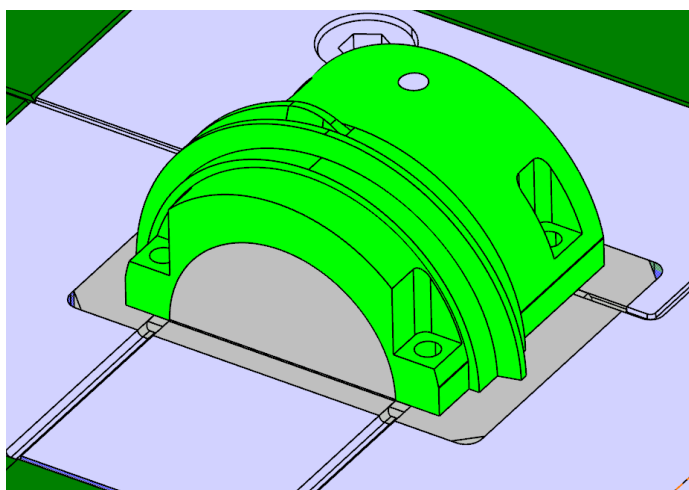
4.3.6 Návrh odvzdušnění [11], [15], [19], [44]

Pro zvolení správné polohy odvzdušňovacích kanálků může dobře posloužit jednoduchá analýza plnění dutiny formy, která je vyobrazena v příloze 4. Návrh odvzdušnění je realizován v pohyblivé části formy, což je znázorněno na obrázku 79. Odvzdušňovací kanálky jsou realizovány ve čtyřech místech v každé dutině formy principem uvedeným na obrázku 53. Nutná plocha pro odvzdušnění musí být dle vypočtených technologických parametrů $0,362 \text{ mm}^2$. Šířka odvzdušňovacích kanálků je volena $0,04 \text{ mm}$, ale vzhledem k průběhu plnění dutiny (viz příloha 4), je délka dvou kanálků volena na 3 mm v případě '1' a v případě dalších zbylých dvou '2' je volena délka $1,5 \text{ mm}$, které jsou navrženy z důvodu možného uzavření vzduchu a případného vzniku nedostříknutého dílce. Odvzdušňovací kanály '3', které jsou napojeny na kanálky, je vhodné navrhnout i v příslušné desce pro lepší odvod stlačovaného vzduchu. Plochu kanálů je nutné navrhnout vyšší, a proto jsou zahlobeny 1 mm .



Obrázek 79 Navržené odvzdušnění

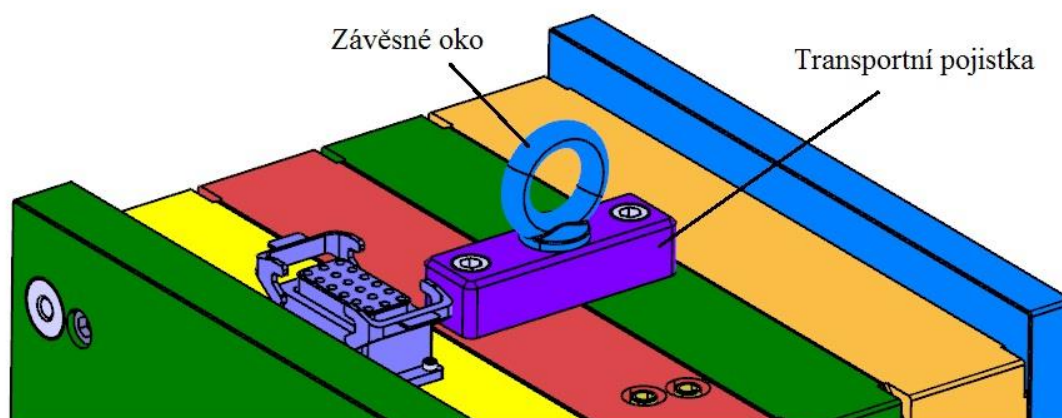
Na obrázku 80 je zobrazen návrh odvzdušnění spolu se zaformovanou součástí. Odvzdušnění není příliš vhodné realizovat v místech, kde by docházelo ke kontaktu s funkčními plochami vstříkovaného dílce, což je zřejmé z přílohy 1. Dále je možné podotknout, že odvzdušnění může být na formě zhotoveno až po jejím odzkoušení zdali je vůbec nutné, případně zhotovit jen některé kanálky například skrze netěsnosti vyhazovačů, jimiž může unikat stlačovaný vzduch.



Obrázek 80 Zobrazené odvzdušnění se zaformovaným výstřikem

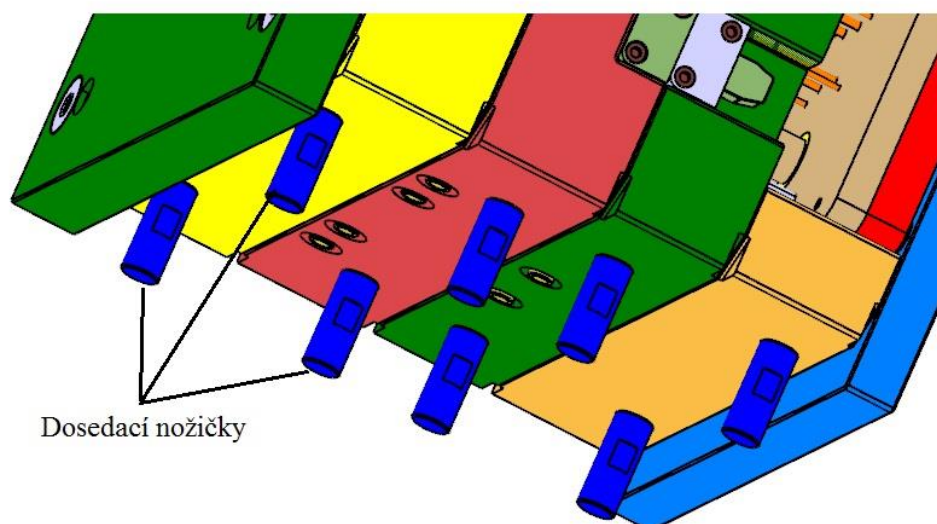
4.3.7 Doplnkové a manipulační prvky formy [11], [15], [44]

Vícenásobné vstřikovací formy jsou obvykle vyznačovány svými velkými rozměry a s tím související velkou hmotností. Obvyklá hmotnost forem se pohybuje v řádech stovek kilogramů až několik tun, a to v závislosti na rozměrech vstřikovaného dílce. Proto je manipulace obvykle zajištěna s využitím dílenských jeřábů. Pro tento typ manipulace je nutné navrhnout každou formu s určitými manipulačními prvky (viz obr. 81). Jejich nosnost musí být vyšší, než je hmotnost formy. Hmotnost navržené formy je přibližně 301 kg. Z toho pohyblivá část 134 kg a pevná část 167 kg (manipulační prvky nejsou započteny) o vnějších rozměrech základního rámu 346 mm x 396 mm x 357 mm a byla zjištěna v programu, ve kterém byla navržena. Nosnost závěsného oka je maximálně 700 kg. Transportní pojistka slouží k zabránění rozevření formy při její manipulaci.



Obrázek 81 Manipulační prvky formy

Dalším manipulačním prvkem jsou tzv. podkladné nožičky, které jsou zobrazeny na obrázku 82. Slouží především k usnadnění demontáže formy a její manipulaci za pomoci vysokozdvížného vozíku při přepravě na údržbu či uložení do nástrojového parku firmy atd. Jedním z konstrukčních prvků usnadňující její demontáž je zhotovení vybrání v rozích desek formy.



Obrázek 82 Rozložení podkladných nožiček

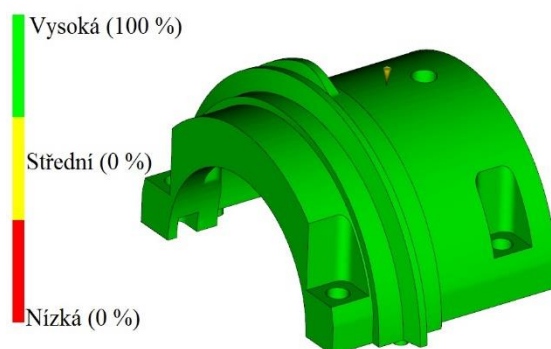
4.4 Simulační analýzy

V současnosti je využití jakýchkoliv simulací při návrhu prakticky čehokoli nezbytnou součástí. Pro ověření správnosti návrhu vstřikovací formy jich je celá řada a mohou být nápomocné k odhalení případných chyb v konstrukci či nevhodně zvolených vstřikovacích parametrů. Použitým programem je již zmíněný Autodesk Moldflow Adviser 2017 a jedná se o pouze studentskou verzi, která nedovoluje provést například přímou kontrolu temperačního systému. Nicméně dostupné simulace můžou posloužit jako určitá nápověda k samotné konstrukci formy, nebo i k doladění vstřikovacích parametrů.

Při návrhu formy byly už určité simulace provedeny a v této kapitole budou vypsány další, které byly dostupné.

- Kontrola zaplnění dutiny

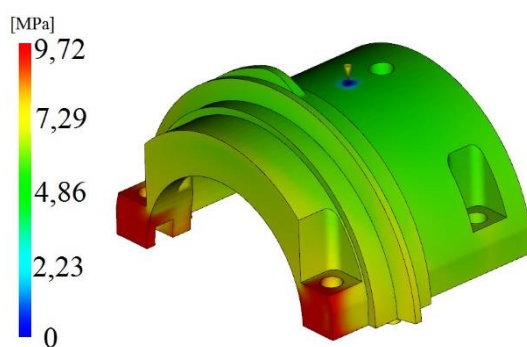
Jednou z nejdůležitějších prováděných analýz při návrhu formy je kontrola kvality zaplnění dutiny, která je zobrazena na obrázku 83. Analýza zobrazuje oblasti výstřiku, která charakterizuje určitou kvalitu zaplnění – dobrá, střední a nízká. Na přiloženém obrázku je možné vidět, že navržená dutina spolu se vstupními parametry vstřikování nemá žádná kritická místa. Analýza rovněž potvrzuje správnou volbu ústí vtoku.



Obrázek 83 Kvalita zaplnění dutiny formy

- Tlaková ztráta v průběhu plnění dutiny

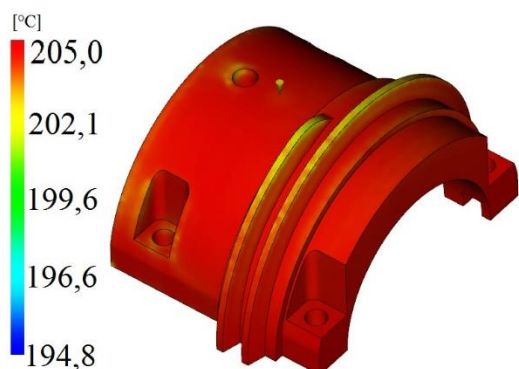
Jedná se o další posouzení návrhu formy a slouží především ke zjištění úbytku tlaku během plnění a jeho hodnota je přímo úměrná k délce toku taveniny. Na obrázku 84 je patrné, že k největším tlakovým ztrátám dochází právě na nejvzdálenějších místech od ústí trysky. Dále je patrné, že i tlak na nejvzdálenějším konci součásti je vyšší než nejnižší nutný k vystříknutí součásti (viz výsledek rovnice 4.2). Výsledek tlakové ztráty nadále slouží k výpočtu odvodu vzduchu jako tlak stlačeného vzduchu při naplnění dutiny.



Obrázek 84 Pokles tlaku v dutině při vstřikování

- Teplota taveniny při vstřikování

Již při samotném procesu vstřikování taveniny do dutiny formy dochází k jejímu ochlazování a v některých místech může být pokles příliš výrazný, což je nežádoucí. Doporučené řešení je takové kdy teplota taveniny neklesne o více jak 5°C. Pokud ano, je pak vhodné upravit vstupní parametry - například vstřikovací tlak, navýšit teplotu temperované formy apod. Analýza poklesu teploty je na obrázku 85. Na provedené simulaci je možné vidět teplotní ztrátu do maximálně 5°C.



Obrázek 85 Pokles teploty při vstřikování

4.5 Volba vstřikovacího stroje [5], [6], [45]

Pro správné zvolení stroje je třeba zvážit mnoho faktorů. Z technologických výpočtů jsou nejdůležitějšími parametry:

- Vstřikovací tlak
- Velikost dávky taveniny
- Průměr šneku
- Uzavírací síla
- Rozměry formy

Správná volba stroje je taková, když jeho parametry převyšují ty, které jsou vypočtené v kapitole 4.2, ale optimální řešení spočívá v maximálním využití stroje, tudíž je snaha volit takový, který vypočítané parametry mírně převyšuje. Zvolení stroje o

mnohonásobně vyšších užitných parametrů je neekonomické, jelikož může být využit pro mnohem větší formu. Jako vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 420C od firmy ARBURG (viz obr. 86). Porovnání užitných parametrů zvoleného stroje s vypočtenými parametry je uvedeno v tabulce 8. Další informace o stroji je uvedeno v příloze 5.



Obrázek 86 Zvolený vstřikovací stroj Allrounder 420 C [6]

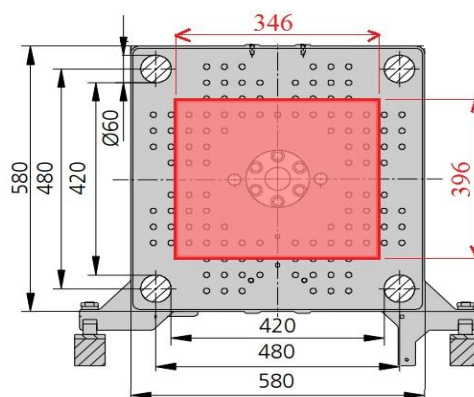
Tab. 8 Porovnání základních strojních parametrů s hodnoty návrhu

Porovnávací parametr	Hodnoty návrhu	Maximální hodnoty stroje	Využití
Vstřikovací tlak [bar]	850	1530	55,6 %
Velikost dávky taveniny [g]	96,25	213	45,2 %
Vstřikovací rychlost [cm ³ /s]	157,8	182	86,7 %
Průměr šneku [mm]	40	40	100 %
Uzavírací síla [kN]	537,3	1000	53,7 %
Vyhazovací síla [kN]	7,857	40	19,6 %
Výška formy [mm]	346	420	82,4 %
Šířka formy [mm]	396	420	94,3 %
Zdvih vyhazovače [mm]	34	175	19,4 %
Hmotnost pohyblivé části formy [kg]	134	600	22,2 %

*1. Pozn.: Barevné označení sloupce tabulky 'využití' je následující: zelená (nad 50 %) – vysoká využitelnost, oranžová (25 – 50 %) – dobrá využitelnost, červená (pod 25 %) – nízká využitelnost parametrů stroje.

*2. Pozn.: Hodnoty stroje vybrané pro upnutí jsou voleny na základě vzdáleností sloupků, je ale možnost rozšíření jednoho rozměru na úkor druhého tzn., aby šířka či výška přesahovali sloupky, případně i neobvyklé upnutí do stroje, které je znázorněné v příloze 6 (4/5).

Zvolený vstřikovací stroj dokáže pokrýt všechny požadované parametry pro navrhovanou formu. Umístění formy do stroje je znázorněno na obrázku 87, kde vnitřní rozměry mezi vodícími sloupky je 420 mm x 420 mm, což umožňuje umístění formy do prostoru mezi všechny vodící sloupky. Otvory pro středící kroužky jsou 125 mm a minimální výška formy je 250 mm, což rovněž splňuje.



Obrázek 87 Uložení formy do stroje [5]

4.6 Technologický postup výroby

Proces výroby šneku je řízen dle určitého technologického postupu, který zahrnuje veškeré prováděné pracovní operace pro kompletní zhotovení součásti. Cíle práce vymezují technologický návrh pouze šneku, ale z důvodu názvu práce je zhotoven i technologický postup šnekového kola, který je vložen do přílohy 7. Navržený technologický postup pro dvoudílný šnek je uveden v tabulce 9.

Tab. 9 Technologický postup

Součást		Dvoudílný šnek
Materiál		CELCON LW90-S2 – POM
Číslo op.	Dílna	Popis
1	Sklad	Příjem materiálu (granulátu)
2	-	Přeprava granulátu do lisovny
3	Lisovna	Příprava vstřikovací formy (transport, upnutí do stroje, připojení dodatečných systému a jejich kontrola)
4	Lisovna	Nastavení stroje, příprava materiálu a jeho sušení viz materiálový list
5	Lisovna	Zahájení vstřikování
6	Lisovna	Kontrola prvních vyrobených kusů (v případě zmetků úprava vstupních výrobních parametrů)
7	Lisovna	Spuštění sériové výroby
8	Lisovna	Odstranění mini kuželového ústí a chladnutí výrobku
9	Lisovna	Průběžná vizuální kontrola náhodných kusů
9	-	Přeprava výstřiků do frézovny
10	Frézovna	Zhotovení závitu M5x1 na vertikální frézce
11	Frézovna	Označení a uložení do krabic
12	OTK	Výstupní kontrola (kontrola rozměrů a stavu povrchu – četnost 10%)
13	-	Přeprava do expedičního skladu
14	Sklad	Kompletní balení a expedice

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [26], [27], [42]

Pojednává o teoretickém vyčíslení nákladů pro výrobu jednoho dílce - poloviny šneku, bez zhotovení závitu. Jelikož se jedná pouze o teoretický návrh nákladů, tak jsou některé výdaje zjištěny pomocí kvalifikovaného odhadu. Výrobní náklady jsou složeny z variabilních, fixních nákladů a zisku, přičemž variabilní náklady jsou ovlivňovány množstvím kusů. Fixní náklady jsou stále stejné, a to neohledně na velikost série. Pro stanovení celkových nákladů se využívá údajů uvedených v tabulce 10. Velikost nákladu na výrobu vstřikovací formy je určena na základě kvalifikovaného odhadu. Do ceny formy jsou zahrnuty výdaje na konstrukci, materiál, výroba, včetně servisních zkoušek apod.

Tab. 10 Údaje pro výpočty výrobních nákladů

Typ údaje	Hodnota
Velikost produkce (počet polovin) [N]	140 000 [ks]
Hmotnost výstřiku [m]	38,5 [g]
Násobnost formy [n_1]	2 [-]
Doba vstřikovacího cyklu [t_c]	55,71 [s]
Hrubá mzda operátora (zvoleno) [M]	150 [Kč/hod]
Cena za granulát [C_{PG}]	61 [Kč/kg]
Cena stroje [C_S]	1 704 000 [Kč]
Cena provozu stroje (odhad) [C_{Pr}]	350 [Kč/hod]
Cena vstřikovací formy (odhad) [C_F]	320 000 [Kč]
Životnost formy (odhad počtu cyklů) [\check{Z}_F]	250 000 [-]
Požadovaný zisk [z]	30 [%]

5.1 Přímé náklady [26], [35]

Výdaje, které jsou zařazeny do přímých nákladů, se vztahují pouze k dané zakázce a jsou tedy variabilními náklady. Patří do nich náklady na spotřebu granulátu, provoz stroje, mzdy atd.

- Stanovení spotřebovaného množství granulátu

$$m_{gr} = N \cdot \frac{m}{1000} [\text{kg}], \quad (5.1)$$

$$m_{gr} = 140\,000 \cdot \frac{38,5}{1000} = 5\,390 \text{ kg}.$$

- Výpočet nákladů na spotřebovaný granulát

$$N_{gr} = m_{gr} \cdot C_{PG} [\text{Kč}], \quad (5.2)$$

Kde: C_{PG} - cena za granulát [Kč/kg].

$$N_{gr} = 5\,390 \cdot 61 = 328\,790 \text{ Kč}.$$

Zjištění výše nákladů na provoz vstřikovacího stroje je provedeno na základě čistého strojního času, nicméně je nutné zjistit i hodnotu ročního odpisu pořizovacích nákladů stroje, ze které je následně vypočítán jeho podíl zahrnutý do nákladů této výrobní série. Tento druh

podílu je vztahován k celkové době produkce, ve které jsou započítány prostoje, dále pak montáž formy apod.

- Stanovení čistého strojního času

$$t_{st} = \frac{N \cdot t_c}{n_1 \cdot 3600} [\text{hod}], \quad (5.3)$$

$$t_{st} = \frac{140\,000 \cdot 55,71}{2 \cdot 3600} = 541,6 \text{ hod.}$$

- Stanovení celkového času produkce

$$t_{cp} = \frac{t_{st}}{K_{vč}} [\text{hod}], \quad (5.4)$$

Kde: $K_{vč}$ – koeficient využití výrobního času (0,7 - 0,9).

$$t_{cp} = \frac{541,6}{0,8} = 677 \text{ hod.}$$

- Výpočet podílu z ročního odpisu vstřikovacího stroje Allrounder 420 C

$$N_{os} = \frac{C_s}{t_o \cdot 365 \cdot 24} \cdot t_{cp} [\text{Kč}], \quad (5.5)$$

Kde: C_s - cena stroje [Kč],

t_o – doba odpisu stroje (6let).

$$N_{os} = \frac{1\,704\,000}{6 \cdot 365 \cdot 24} \cdot 677 = 21\,948 \text{ Kč.}$$

- Výpočet celkových nákladů na provoz stroje

$$N_{pr} = t_{st} \cdot C_{pr} + N_{os} [\text{Kč}], \quad (5.6)$$

Kde: C_{pr} - hodinová sazba stroje [Kč/hod].

$$N_{pr} = 541,6 \cdot 350 + 21\,948 = 211\,508 \text{ Kč.}$$

- Výpočet nákladů na amortizaci vstřikovací formy

$$N_f = \frac{C_F \cdot N}{\check{Z}_F \cdot n_1} [\text{Kč}], \quad (5.7)$$

Kde: C_F – cena formy [Kč],

\check{Z}_F – životnost formy (počet cyklů) [-].

$$N_f = \frac{320\,000 \cdot 140\,000}{250\,000 \cdot 2} = 89\,600 \text{ Kč.}$$

- Náklady na mzdu operátora

$$N_{mzda} = t_{cp} \cdot M [\text{Kč}], \quad (5.8)$$

Kde: M – hrubá mzda operátora [Kč].

$$N_{mzda} = 677 \cdot 150 = 101\,550 [\text{Kč}].$$

- Výpočet celkových přímých nákladů na celkovou produkci 140 000 ks

$$N_{př} = N_{gr} + N_{pr} + N_f + N_{mzda} [\text{Kč}], \quad (5.9)$$

$$N_{př} = 328\,780 + 211\,508 + 89\,600 + 101\,550 = 731\,438 \text{ Kč.}$$

5.2 Nepřímé náklady [27], [35]

Běžně se jim říká režijní náklady a jedná se o výdaje spojené s řízením a organizací firmy, tudíž nejsou ovlivňovány zakázkou, jsou tedy fixní. Je nutné poznamenat, že režijní podíly nákladů jsou pouze odhadované, jelikož se můžou v každé firmě lišit.

- Výrobní režie

Výše těchto nákladů bývá odhadována na přibližně 140 % mzdových nákladů, spadají do nich výdaje na spotřebu energií během výroby, opravy atd.

$$N_{vr} = N_{mzdy} \cdot 1,4 \text{ [Kč]}, \quad (5.10)$$

$$N_{vr} = 101\,550 \cdot 1,4 = 142\,170 \text{ Kč.}$$

- Správní režie

Jedná se o náklady spojené s administrativou (například účetnictví, management apod.). Hodnota správní režie je odhadována přibližně na 70 % ze mzdových nákladů.

$$N_{sr} = N_{mzdy} \cdot 0,7 \text{ [Kč]}, \quad (5.11)$$

$$N_{sr} = 101\,550 \cdot 0,7 = 71\,085 \text{ Kč.}$$

- Odbytová režie

Tento typ režijních nákladů souvisí s uskladněním a následnou expedicí hotových výrobků. Hodnota je odhadována ve výši 30 % mzdových nákladů.

$$N_{od} = N_{mzdy} \cdot 0,3 \text{ [Kč]}, \quad (5.12)$$

$$N_{od} = 101\,550 \cdot 0,3 = 30\,465 \text{ Kč.}$$

- Souhrn celkových nepřímých nákladů na výrobu série 140 000 ks

$$N_{nepř} = N_{vr} + N_{sr} + N_{od} \text{ [Kč]}, \quad (5.13)$$

$$N_{nepř} = 142\,170 + 71\,085 + 30\,465 = 243\,720 \text{ Kč.}$$

5.3 Celkové výrobní náklady a zisk [35]

Pro stanovení zisku je nutné vypočítat celkové náklady na výrobu, což je provedeno sečtením přímých a nepřímých nákladů. Následně jsou zobrazeny jednotlivé podíly z celkových výrobních nákladů (viz obr. 88).

$$N_{celk} = N_{př} + N_{nepř} \text{ [Kč]}, \quad (5.14)$$

$$N_{celk} = 731\,438 + 243\,720 = 975\,158 \text{ Kč.}$$



Obrázek 88 Nákladové podíly

Variabilní náklady vztažené na jednu vystříknutou součást jsou dány následujícím vztahem:

$$N_{1var} = \frac{N_{př}}{N} [\text{Kč}], \quad (5.15)$$

$$N_{1var} = \frac{731\,438}{140\,000} = 5,2 \text{ Kč}.$$

- Zisk

Požadovaný zisk je stanoven na 30 % z celkových nákladů na výrobu. Jeho hodnota je vypočítána z celkových nákladů následujícím vztahem:

$$Z_{celk} = N_{celk} \cdot 30 \cdot 0,01 [\text{Kč}], \quad (5.16)$$

kde: z – výše požadovaného zisku [%],

$$Z_{celk} = 975\,158 \cdot 30 \cdot 0,01 = 292\,547 \text{ Kč}.$$

Celková cena jednoho výstřiku bez DPH se ziskem 30 % je vypočtena dle následujícího vztahu:

$$C_1 = \frac{N_{celk} + Z_{celk}}{N} [\text{Kč}], \quad (5.17)$$

$$C_1 = \frac{975\,158 + 292\,547}{140\,000} = 9,1 \text{ Kč}.$$

- Zisk z jedné součásti

$$Z_{1s} = \frac{Z_{celk}}{N} [\text{Kč}], \quad (5.18)$$

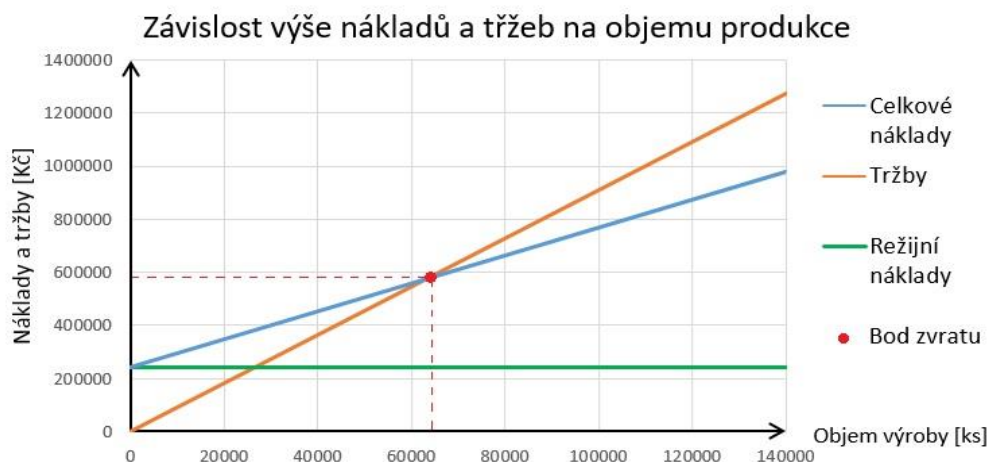
$$Z_{1s} = \frac{292\,547}{140\,000} = 2,1 \text{ Kč}.$$

- Grafické znázornění a bod zvratu

Pro názornější představu je provedeno grafické znázornění bodu zvratu v grafu na obrázku 89. Graf pojednává o závislosti nákladů a tržeb vzhledem k požadované velikosti výrobní série zadané součásti. Výstupem je bod zvratu, který určuje, kdy začíná být výroba zisková. Hodnota bodu zvratu je určena dle následujícího vztahu:

$$Q_{BZ} = \frac{N_{nepř}}{C_1 - N_{1var}} [\text{ks}], \quad (5.19)$$

$$Q_{BZ} = \frac{243\,720}{9,1 - 5,2} = 62\,492 \text{ ks}.$$



Obrázek 89 Grafické znázornění výše nákladů a tržeb na velikosti produkce

ZÁVĚRY

Pro výrobu dvoudílného šneku byla na základě jeho rozboru zvolena výrobní technologie vstřikování plastů. Pro zadanou součást byl vybrán plastový materiál polyoxyethylén (POM), značený obchodním názvem CELCON LW90-S2, jehož vlastnosti a rozsah aplikačního použití odpovídá oblasti použití zadané součásti.

Při navrhování vstřikovací formy byla nejprve určena vhodná poloha dělicí roviny spolu s provedenou analýzou vhodnosti umístění ústí vtoku. Předpokládaná doba plnění dutiny na základě provedených simulací je 0,61 [s] a doba tuhnutí výstřiku 51,2 [s]. Při technologických výpočtech bylo zjištěno, že vůči velikosti požadované série a doby výroby bude nejvhodnější dvojnásobná vstřikovací forma (pro obě poloviny šneku). Z hlediska tvarové složitosti součásti byla navržena dutina z tvarových vložek s ukotvenými jádry pro snadnější vyrobitelnost a opravitelnost zapuštěných do desek. Pro přenos taveniny do tvarové dutiny byla z hlediska zaformované součásti, umístění vtoku a velikosti série byla zvolena horká vtoková soustava od firmy Syventive Molding Solutions. Pro kvalitní odvod tepla byl navržen tří okruhový temperační systém pro každou dutinu, jež svým rozložením zajišťuje rovnoměrné chlazení výstřiku a zabraňuje nežádoucího přenosu tepla ze sestavy horkého rozvodu taveniny. Pro bezpečné odformování součásti z formy je navržen kolíkový vyhazovací systém. Dále pro zabránění defektů na výstřiku vlivem neodvedeného vzduchu bylo navrženo odvzdušnění na základě výpočtů a simulačních analýz. Z hlediska bezproblémové manipulace s formou byly navrženy pomocné prvky, které ji usnadňují. Normálie použité při návrhu formy byly většinou použity od firmy Hasco s menším podílem produktů od firmy Meusburger.

Provedenými simulacemi bylo zjištěno, že navržená vstřikovací forma splňuje důležité parametry pro nepřetržitou výrobu vstřikováním taveniny zvoleného materiálu pro výrobu šneku. Jako výrobní stroj byl zvolen Allrounder 420 C od renomované firmy Arburg, který splňuje všechny nároky pro navrženou vstřikovací formu s dostatečnou rezervou.

V technicko-ekonomickém hodnocení byl proveden výpočet nákladů na základě odhadovaných vstupních parametrů pro produkci výstřiků, a ta činí 975 158 Kč. Od toho se odvíjí cena jednoho výstřiku a ta by měla být 9,1 Kč bez DPH. Dále bylo zjištěno, že od vyrobených 62 492 kusů by se měl generovat zisk. Celý proces by bylo možné zefektivnit například přidáním pásového dopravníku od sušičky granulátu po násypku vstřikovací jednotky stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [8]

1. 1.1730. *Preciz s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.1730>
2. 1.2312. *Preciz s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2312>
3. 3D tisk FDM. *Custompart* [online]. Washington: custompartnet, 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
4. Advanced Methods For Making Better Mold Tools. *Starrapid* [online]. Hong Kong: Star rapid, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.starrapid.com/blog/advanced-methods-for-making-better-mold-tools/>
5. Allrounder 420 C. *Arburg* [online]. Lossburg: Arburg, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_420C_GOLDEN_EDITION_TD_523677_en_GB.pdf
6. *Arburg* [online]. Lossburg: Arburg, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/>
7. CELCON LW90-S2. *Campus plastics* [online]. Frankfurt nad Mohanem: Campus, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/CELCON+LW90-S2/Celanese/163/9dee9a70>
8. *Citace PRO* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
9. Custom injection molds. *Precision injection mold* [online]. Donguan: Precisioninjectionmold, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.precisioninjectionmold.com/sale-3546798-toys-and-crafts-commodity-injection-mould-hot-runner-custom-injection-mold.html>
10. *Hasco* [online]. Lüdenscheld, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: www.hasco.com
11. MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2001. ISBN 3-446-21256-6.
12. Chemická odolnost, koroze polymerů. *Publi* [online]. Svitavy: Běhálek, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/15.html>
13. Injection Molding Animation. In: *Youtube* [online]. Radevormwald: Tronicarts, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ>
14. Kaučuky. *Katedra chemie* [online]. Ústí nad Labem: ujep, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Kaucuky_final.pdf
15. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2007. ISBN 978-80-86604-36-7.
16. Konstrukční provedení vstřikovacích lisů. *MM spektrum* [online]. Praha: Kohoutek, 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
17. Makromolekulární látky, syntetické polymery. *Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie* [online]. Olomouc: Klečková, 2013 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/studijni_texty/vyukova_temata/plasty_text.pdf
18. *Meusburger* [online]. Wolfurt: Meusburger, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.meusburger.com/>

19. REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2002. ISBN 34-462-1659-6.
20. MuCell. *Poeppelmann* [online]. Lohne: Poeppelmann, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.poeppelmann.com/us/pp-k-tech/competences/mucell/>
21. Plasty. *Oddělení povrchového inženýrství* [online]. Plzeň: ZCU, 2004 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/plasty.pdf>
22. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. Liberec: Kps tul, 2008 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
23. Polymery. *Publi* [online]. Svitavy: Běhálek, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
24. Proces polymerizace. *Quora* [online]. San Jose: Quora, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Whats-the-difference-between-a-monomer-and-a-polymer>
25. Přetlačování a lisování plastů. *Publi* [online]. Svitavy: Běhálek, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/04.html>
26. Přímé náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/p/prime-naklady/>
27. Režijní náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/r/rezijni-naklady/>
28. Saze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Saze>
29. Speciální plasty. *Techplasty* [online]. Žilina: techpasty, 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.techplasty.sk/material/specialne-plasty/duratroner-pbi-polybenzimidazol>
30. Speciální vstřikování plastů. *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Kps tul, 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm
31. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. *Publi* [online]. Svitavy: Seidl, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
32. *Strojírenské Kovovýrobní Družstvo SKD* [online]. Bojkovice: Bizmark, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.skd-bojkovice.cz/>
33. Struktura plastů. In: *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. Liberec: Kps tul, 0018n. 1. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/11-struktura.jpg
34. Struktura plastů plněných skelnými vlákny. In: *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Kps tul, 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/13-sklenena%20vlakna.jpg
35. SYNEK, Miloslav. *Výpočty v ekonomice a řízení průmyslového podniku: vysokoškolská příručka pro vysoké školy ekonomické*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.
36. Technologie vstřikování. *Publi* [online]. Svitavy: Lenfeld, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
37. ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.

38. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. Praha: Verlag Dashofer, 2001. ISBN 80-8622-15-7.
39. *Syventive molding solutions* [online]. Bensheim: Syventive, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.synventive.com>
40. Syventive hot runner systems. *Syventive molding solutions* [online]. Bensheim: Syventive, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.synventive.com/aboutus/default.aspx?id=40376&langtype=1033>
41. Třecí vlastnosti polymerů. Publi [online]. Svitavy: Běhálek, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/12.html>
42. Variabilní náklady. In: *Firemní slovník.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/v/variabilni-naklady/>
43. Vent. *Custom injection molding* [online]. Taizhou Zhejiang: Plastic mold company, 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.custom-injection-molding.net/vent/>
44. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. *Publi* [online]. Svitavy: Bobek, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
45. Vstřikovací stroje Allrounder. *Arburg* [online]. Lossburg: Arburg, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/events/k2016/exponaty/dalsi-exponaty/zpracovani-dvou-tekutych-silikonu/>
46. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
47. Vyhazovací sestava a vyhazovače. *ZCU Fakulta Strojní* [online]. Plzeň: hynek, 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
48. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
49. Ocel nástrojová pro výrobu forem W. Nr. 1.2083. JKZ Bučovice a.s. [online]. 2013 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://jkz.cz/node/165>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Popis
C_1	[Kč]	Cena jednoho výstřiku
C_F	[Kč]	Cena vstřikovací formy
C_{PG}	[Kč]	Cena granulátu
C_{PR}	[Kč]	Cena provozu stroje
C_S	[Kč]	Cena stroje
d_{nh}	[mm]	Vnitřní průměr nahrazené geometrie šneku
D_S	[mm]	Průměr šneku vstřikovacího stroje
E	[MPa]	Modul pružnosti
E_{POM}	[MPa]	Modul pružnosti POM
f_1	[min ⁻¹]	Frekvence otáček šnekového kola
f_2	[min ⁻¹]	Frekvence otáček šneku
f_c	[mm]	Maximální délka toku taveniny
f_{tr}	[-]	Koeficient tření
F_u	[kN]	Uzavírací síla
F_v	[kN]	Vyhazovací síla
i	[-]	Převodový poměr
K	[-]	Koeficient využití času
K_a	[-]	Faktor navýšení objemu taveniny
K_{cv}	[kJ/m ²]	Vrubová houževnatost
K_f	[bar/mm]	Faktor schopnosti tečení
$K_{vč}$	[-]	Koeficient využití výrobního času
L_S	[mm]	Délka dráhy šneku
M	[Kč]	Hrubá mzda operátora
m_{gr}	[kg]	Spotřeba granulátu
m_{vz}	[kg]	Hmotnost vzduchu v dutině formy
N	[ks]	Velikost požadované série
n_1	[-]	Násobnost formy dle požadovaného termínu dodání
N_{1var}	[Kč]	Variabilní náklady jednoho výstřiku
n_2	[-]	Násobnost formy dle kapacity vstřikovacího stroje
n_3	[-]	Násobnost formy dle plastikační kapacity stroje
n_4	[-]	Násobnost formy dle uzavírací síly
N_{celk}	[Kč]	Celkové náklady
N_f	[Kč]	Náklady na amortizaci vstřikovací formy
N_{gr}	[Kč]	Náklady na granulát
N_{mzda}	[Kč]	Náklady na mzdu operátora
$N_{nepř}$	[Kč]	Celkové nepřímé náklady
N_{od}	[Kč]	Odbytová režie
N_{os}	[Kč]	Podíl z ročního odpisu stroje
n_p	[-]	Polytropický koeficient
N_{pr}	[Kč]	Náklady na provoz stroje

Označení	Jednotka	Popis
$N_{př}$	[Kč]	Celkové nepřímé náklady
n_s	[min ⁻¹]	Otáčky šneku při plastikaci
N_{sr}	[Kč]	Správní režie
N_{vr}	[Kč]	Výrobní režie
P_0	[ata]	Počáteční tlak vzduchu ve formě
P_1	[MPa]	Tlak stlačeného vzduchu uzavřeného v dutině formy
p_A	[MPa]	Tvářecí tlak
P_f	[MPa]	Minimální vstřikovací tlak
P_i	[MPa]	Průběh tlaku v dutině formy
P_T	[MPa]	Tlak mezi plastem a tvárníkem
P_z	[MPa]	Zbytkový tlak
Q_{BZ}	[Ks]	Hodnota bodu zvratu
Q_p	[kg/hod]	Plastikační kapacita stroje
Q_v	[cm ³]	Vstřikovací kapacita stroje
r_c	[mm]	Poloměr tvárníku pro zjednodušený výstřik
R_m	[MPa]	Pevnost v tahu
s	[mm]	Tloušťka stěny
S_M	[mm]	Tloušťka stěny zjednodušeného výstřiku
S_{pr}	[mm ²]	Plocha průmětu výstřiku
S_{TV}	[mm ²]	Plocha zjednodušeného výstřiku přilnutého na tvárníku
T_0	[°K]	Počáteční teplota vzduchu v dutině
T_1	[°K]	Teplota stlačeného vzduchu v dutině
t_c	[s]	Doba vstřikovacího cyklu
t_{cp}	[hod]	Celkový čas produkce
T_E	[°C]	Teplota odformování
T_f	[°C]	Teplota viskózního toku
T_F	[°C]	Teplota formy
T_g	[°C]	Teplota skelného přechodu
t_{chl}	[°C]	Doba chlazení výstřiku
T_M	[°C]	Teplota tání
t_m	[s]	Strojní čas pro vyjmutí výstřiku manipulátorem
t_o	[rok]	Doba odpisu stroje
t_p	[hod]	Předpokládaná doba produkce
t_{pl}	[s]	Doba plastikace
t_{s1}	[s]	Strojní čas uzavření formy
t_{s2}	[s]	Strojní čas
t_{s3}	[s]	Strojní čas otevření formy a vyhození výstřiku
t_{st}	[hod]	Čistý strojní čas
T_{TAV}	[°C]	Teplota taveniny
t_v	[s]	Doba plnění formy
V	[cm ³]	Objem výstřiku
V_D	[cm ³]	Vstřikovaný objem taveniny

Označení	Jednotka	Popis
V_k	[cm ³]	Objem vtokového zbytku
v_{nh}	[mm]	Výška nahrazené geometrie poloviny šneku
v_s	[m/s]	Obvodová rychlost šneku
V_S	[cm ³ /s]	Vstřikovací rychlost
z	[%]	zisk
z_{1s}	[Kč]	Cena jednoho výstřiku bez DPH
\check{Z}_F	[-]	Životnost formy
ε	[%]	Tažnost
ρ	[g/cm ³]	Hustota
ρ_{vz}	[kg/m ³]	Hustota vzduchu při +20°C
σ	[MPa]	Napětí
σ_t	[MPa]	Tahové napětí mezi výstřikem a tvárníkem

Zkratka	Popis
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
BR	Butadienový kaučuk
CR	Chloroprenový kaučuk
EP	Epoxidová pryskyřice
FDM	Fused Deposition Modeling
GIT	Gas Injection Technoogy
IR	Izoprenový kaučuk
MF	Melamin-Formaldehydová pryskyřice
NR	Přírodní kaučuk
PA	Polyamid
PBI	Polybenzimidazol
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PET	Polyethyilentereftalát
PF	Fenol-Formaldehydová pryskyřice
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluorethylen
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinilchlorid
UP	Polyesterová pryskyřice
WIT	Water Injection Technology

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Plastové výrobky [32].....	10
Obrázek 2: Zadaná součást.....	11
Obrázek 3: Šnekové soukolí.....	11
Obrázek 4: Tvarová odlišnost polovin šneku.....	12
Obrázek 5: Lisování plastů [25]	12
Obrázek 6: Gravitační odlévání plastů [22]	13
Obrázek 7: FDM 3D tisk [3]	13
Obrázek 8: Přetlačování plastů [25]	14
Obrázek 9 Vstřikování plastů [42]	14
Obrázek 10 Amorfnní uspořádání makromolekul [33]	15
Obrázek 11 Semikrystalické uspořádání makromolekul [33]	15
Obrázek 12 Tvary řetězců makromolekul [33]	16
Obrázek 13 Makromolekulární uspořádání termoplastů [33]	16
Obrázek 14 Struktura reaktoplastů [33]	17
Obrázek 15 Struktura elastomerů [33]	17
Obrázek 16 Schématické znázornění vzniku polymeru [24]	17
Obrázek 17 Princip polymerace [24]	18
Obrázek 18 Princip polykondenzace fenolplastů [23]	18
Obrázek 19 Princip polyadice polyuretanu [23]	18
Obrázek 20 Závislost napětí na deformaci v tahu [23]	19
Obrázek 21 Průběh křipové zkoušky [23].....	19
Obrázek 22 Praskání kaučuku vlivem povětrnostních podmínek [22]	21
Obrázek 23 Vliv teploty na modul pružnosti u reaktoplastů [23]	21
Obrázek 24 Vliv teploty na modul pružnosti u elastomerů [23].....	21
Obrázek 25 Závislost mechanických vlastností na teplotě amorfnních termoplastů [23].....	22
Obrázek 26 Závislost mech, vlastností na teplotě semikrystalických termoplastů [23]	22
Obrázek 27 Barviva [22]	23
Obrázek 28 Řez napěněným materiálem [30]	23
Obrázek 29 Saze [28]	23
Obrázek 30 Mikrostruktura plastu plněného skelnými vlákny [33].....	24
Obrázek 31 Základní fáze vstřikování termoplastů [13].....	25
Obrázek 32 Princip vícekomponentního vstřikování [36]	26
Obrázek 33 Základní fáze technologie GIT [36]	26
Obrázek 34 Struktura výstřiku MuCell [20]	26

Obrázek 35 Základní princip RIM [36].....	27
Obrázek 36 Průběh vstřikovacího cyklu [36].....	27
Obrázek 37 Rozsah objemu vstřikovací dávky [36]	28
Obrázek 38 Vliv laminárního toku na plnění dutiny formy [36]	28
Obrázek 39 Závislost doby chlazení na tloušťce stěny pro vyztužený materiál [36].....	29
Obrázek 40 Závislost doby chlazení na tloušťce stěny pro nevyztužený materiál [36]	29
Obrázek 41 Vliv doby přepnutí dotlaku [36]	29
Obrázek 42 Základní popis vstřikovací formy [9]	30
Obrázek 43 Druhy ústí vtoku [44].....	32
Obrázek 44 Uspořádání studených vtoků pro vícenásobné vstřikovací formy [19]	32
Obrázek 45 Typy vytápění trysek [44].....	33
Obrázek 46 Typy ústí vyhřívaných trysek [44].....	33
Obrázek 47 Vyhřívaná vtokový soustava [40]	33
Obrázek 48 Příklad temperačního systému [4]	34
Obrázek 49 Druhy přepážek temperačního okruhu [44]	34
Obrázek 50 Vyhazovací kolíky [10]	35
Obrázek 51 Systém vratného kolíku [19].....	35
Obrázek 52 Kombinace vratného kolíku a pružiny [19]	35
Obrázek 53 Schématický návrh odvzdušnění [44].....	36
Obrázek 54 Odvzdušnění v dělicí rovině [43]	36
Obrázek 55 Odvzdušnění úpravou vyhazovacího kolíku [19]	36
Obrázek 56 Horizontální vstřikovací stroj [6].....	37
Obrázek 57 Schéma vstřikovací jednotky [31]	37
Obrázek 58 Hydraulická uzavírací jednotka [6]	37
Obrázek 59 Umístění dělicí roviny	38
Obrázek 60 Analýza vhodnosti umístění vtoku	38
Obrázek 61 Volba vtokového ústí	39
Obrázek 62 Maximální délka toku taveniny	39
Obrázek 63 Simulace doby plnění dutiny	40
Obrázek 64 Simulace doby chlazení výstřiku	40
Obrázek 65 Zjednodušená geometrie výstřiku	42
Obrázek 66 Základní rám formy	44
Obrázek 67 Složení tvarové dutiny	45
Obrázek 68 Zaformování tvárnků a tvárníc v deskách vstřikovací formy.....	46
Obrázek 69 Zaformování horké vtokové soustavy	46

Obrázek 70 Deska horké vtokové soustavy	47
Obrázek 71 Ústí trysky [39]	47
Obrázek 72 Simulace kvality chlazení	47
Obrázek 73 Navržený temperační systém	48
Obrázek 74 Těsnění temperačních kanálků	48
Obrázek 75 Sítě temperačních kanálků	48
Obrázek 76 Vyhazovací systém	49
Obrázek 77 Znázornění rozevření formy pro vyhození vyráběné součásti.....	49
Obrázek 78 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku	49
Obrázek 79 Navržené odvodušnění.....	50
Obrázek 80 Zobrazené odvodušnění se zaformovaným výstřikem.....	50
Obrázek 81 Manipulační prvky formy	51
Obrázek 82 Rozložení podkladných nožiček	51
Obrázek 83 Kvalita zaplnění dutiny formy	52
Obrázek 84 Pokles tlaku v dutině při vstřikování	52
Obrázek 85 Pokles teploty při vstřikování	52
Obrázek 86 Zvolený vstřikovací stroj Allrounder 420 C [6]	53
Obrázek 87 Uložení formy do stroje [5]	54
Obrázek 88 Nákladové podíly.....	57
Obrázek 89 Grafické znázornění výše nákladů a tržeb na velikosti produkce.....	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní typy plastů. [23]	17
Tab. 2 Součinitel tření pro vybrané termoplasty. [29], [41].....	20
Tab. 3 Chemická odolnost termoplastů. [23]	20
Tab. 4 Základní pevnostní (při +23°C) a doporučené zpracovatelské vlastnosti POM. [7]	24
Tab. 5 Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálků [44].....	34
Tab. 6 Materiály pro základní části formy [1],[2].....	45
Tab. 7 Chemické složení oceli 1.2083 [49].....	46
Tab. 8 Porovnání základních strojních parametrů s hodnoty návrhu	53
Tab. 9 Technologický postup	54
Tab. 10 Údaje pro výpočty výrobních nákladů	55

SEZNAM PŘÍLOH

CD	Elektronická verze DP
Příloha 1	3D model zadané sestavy
Příloha 2	Rozdělení polymerů dle jejich aplikace
Příloha 3	Materiálový list CELCON LW90-S2 POM
Příloha 4	Simulace doby plnění dutiny formy
Příloha 5	3D modely navržené formy
Příloha 6	Katalogový list stroje ARBURG Allrounder 420 C
Příloha 7	Technologický postup výroby šnekového kola

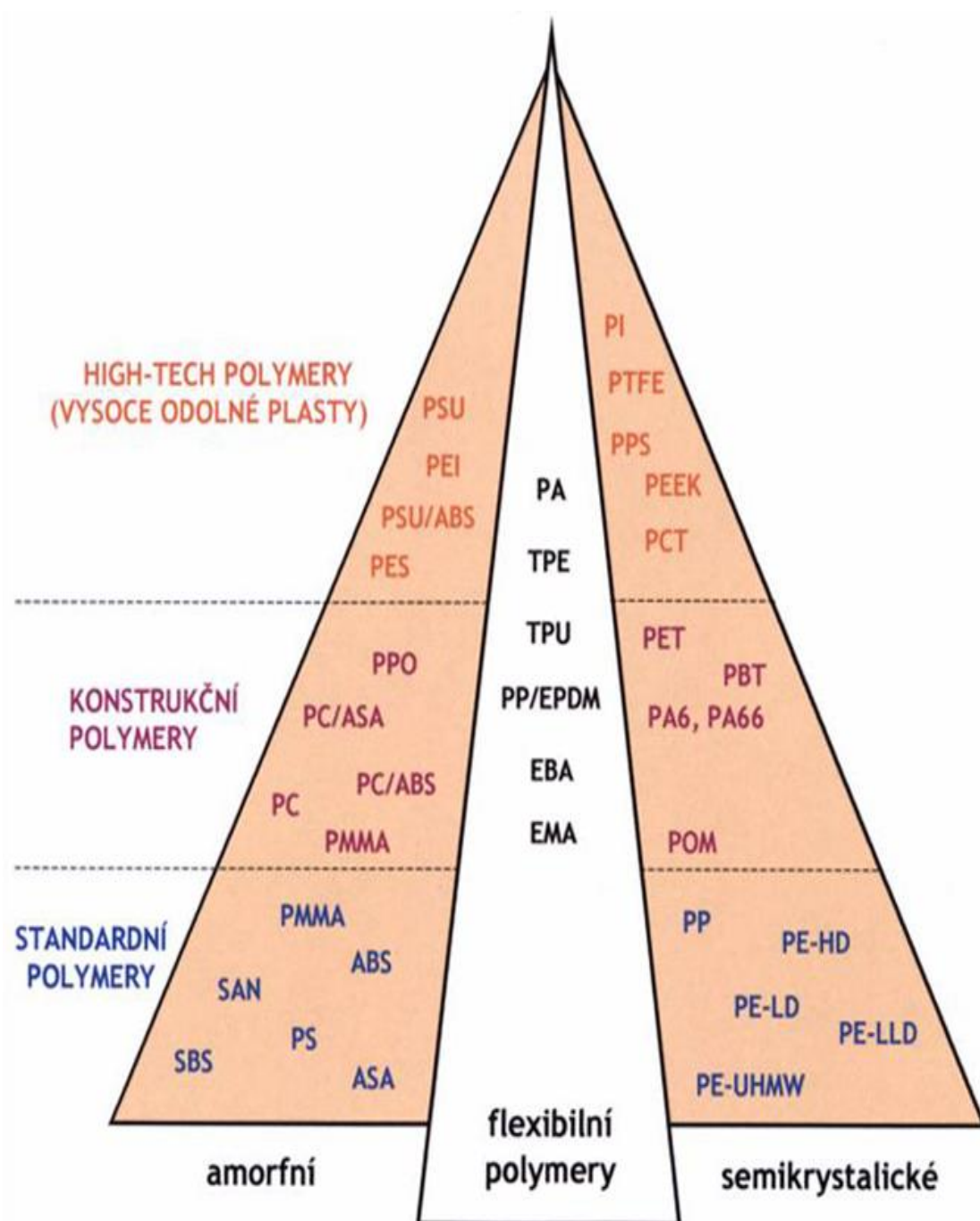
SEZNAM VÝKRESŮ

Šnek 1/2	17-152194-DP S1
Šnek 2/2	17-152194-DP S2
Šnekové kolo	17-152194-DP SK
Vstřikovací forma	17-152194-DP VF
Pevná část formy	17-152194-DP PEV
Pohyblivá část formy	17-152194-DP POH
Tvarová vložka – pevná	17-152194-DP TV1 PEV
Tvarová vložka – pohyblivá	17-152194-DP TV1 POH

PŘÍLOHA 1 3D MODEL ZADANÉ SESTAVY



PŘÍLOHA 2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ



Rozdělení polymerů dle aplikace a jejich nadmolekulární struktury

PŘÍLOHA 3 (1/3) MATERIÁLOVÝ LIST CELCON LW90-S2 - POM

CAMPUS® Datasheet

CELCON LW90-S2 - POM
Celanese



Product Texts

Celcon® LW90-S2 is a preblended low wear formulation of M90 base polymer containing 2% silicone. This standard low friction, low wear product performs well in many applications including those involving intermittent motion.

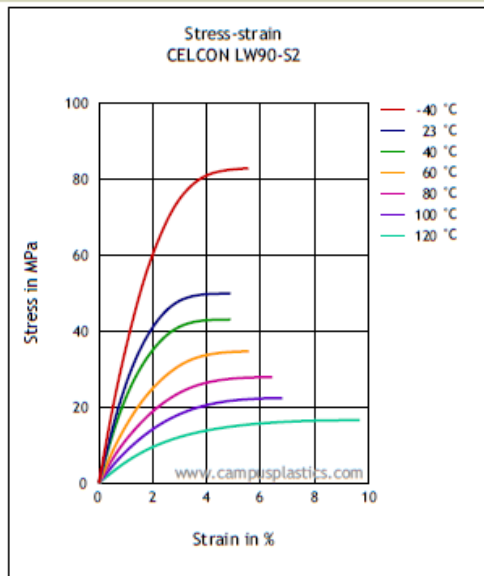
Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	8.4	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	1.9	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.6	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	2500	MPa	ISO 527-1/-2
Charpy notched impact strength, +23°C	7	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	4.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	166	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	94	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	161	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	110	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	120	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1380	kg/m ³	ISO 1183
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Processing conditions acc. ISO	9988	-	ISO-2
Injection Molding, melt temperature	205	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	90	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294
Injection Molding, pressure at hold	86	MPa	ISO 294

PŘÍLOHA 3 (2/3)

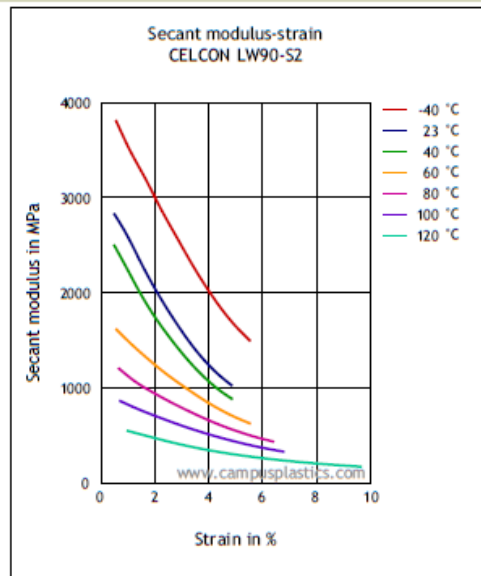
CELCON LW90-S2 - POM
Celanese

Diagrams

Stress-strain



Secant modulus-strain



Characteristics

Processing

Injection Molding

Delivery form

Pellets

Regional Availability

North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America,
Near East/Africa

Other text information

Injection molding

PREPROCESSING

Drying is generally not required because Celcon® and Hostaform® acetal copolymers are not hydroscopic nor are they degraded by moisture during processing. Excessive moisture can lead to splay (silver streaking) in molded parts. For better uniformity in molding especially when using regrind or material that has been stored in containers open to the atmosphere, recommended drying conditions are 80 C (180 F) for 3 hours. Desiccant hopper dryers are not required. Maximum water content = 0.35%

PROCESSING

Standard reciprocating screw injection molding machines with a high compression screw (minimum 3:1 and preferably 4:1) and low back pressure (0.35 Mpa/50 PSI) are favored. Using a low compression screw (I.E. general purpose 2:1 compression ratio) can result in unmelted particles and poor melt homogeneity. Using a high back pressure to make up for a low compression ratio may lead to excessive shear heating and deterioration of the material.

Melt Temperature: Preferred range 182-199 C (360-390 F). Melt temperature should never exceed 230 C (450 F).

Mold Surface Temperature: Preferred range 82-93 C (180-200 F) especially with wall thickness less than 1.5 mm (0.060 in.). May

PŘÍLOHA 3 (3/3)

CELCON LW90-S2 - POM

Celanese

require mold temperature as high as 120 C (250 F) to reproduce mold surface or to assure minimal molded in stress. Wall thickness greater than 3mm (1/8 in.) may use a cooler (65 C/150 F) mold surface temperature and wall thickness over 6mm (1/4 in.) may use a cold mold surface down to 25 C (80 F). In general, mold surface temperatures lower than 82 C (180 F) may hinder weld line formation and produce a hazy surface or a surface with flow lines, pits and other included defects that can hinder part performance.

POSTPROCESSING

Postprocessing conditioning and moisturizing are not required. It may be necessary to fixture large or complicated parts with varying wall thickness to prevent warpage while cooling to ambient temperature.

NOTICE TO USERS: Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the standard range of properties for natural material. These values alone do not represent a sufficient basis for any part design and are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes. Colorants or other additives may cause significant variations in data values.

Properties of molded parts can be influenced by a wide variety of factors including, but not limited to, material selection, additives, part design, processing conditions and environmental exposure. Any determination of the suitability of a particular material and part design for any use contemplated by the users and the manner of such use is the sole responsibility of the users, who must assure themselves that the material as subsequently processed meets the needs of their particular product or use.

To the best of our knowledge, the information contained in this publication is accurate; however, we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information. The information contained in this publication should not be construed as a promise or guarantee of specific properties of our products. It is the sole responsibility of the users to investigate whether any existing patents are infringed by the use of the materials mentioned in this publication.

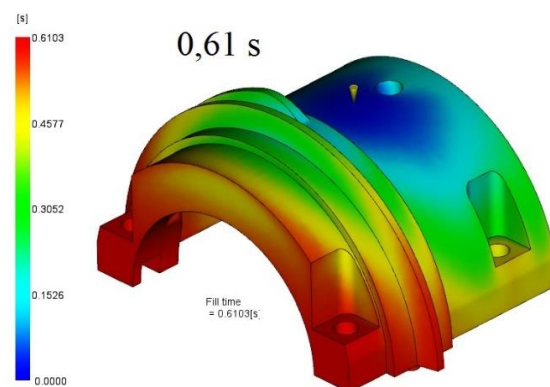
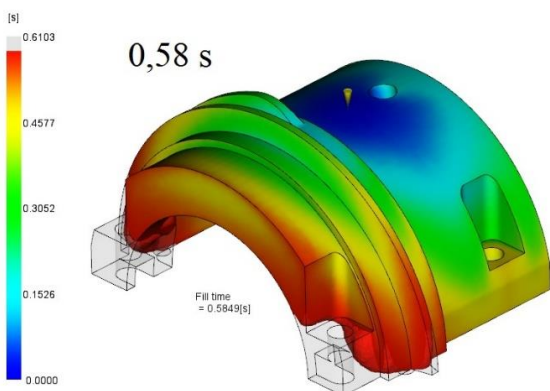
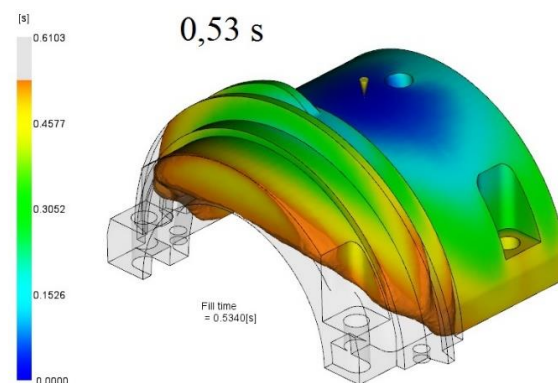
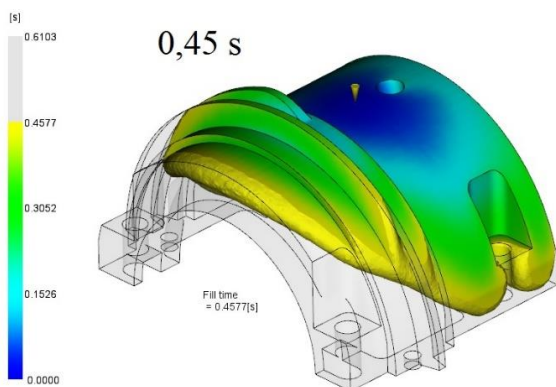
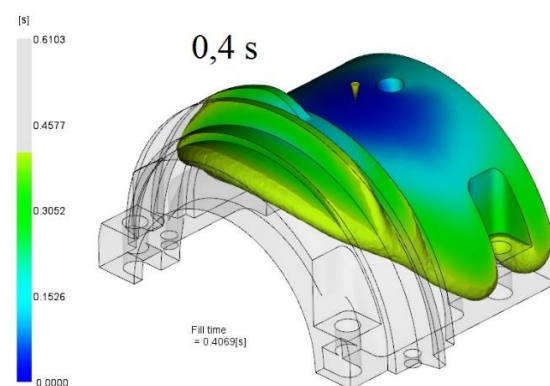
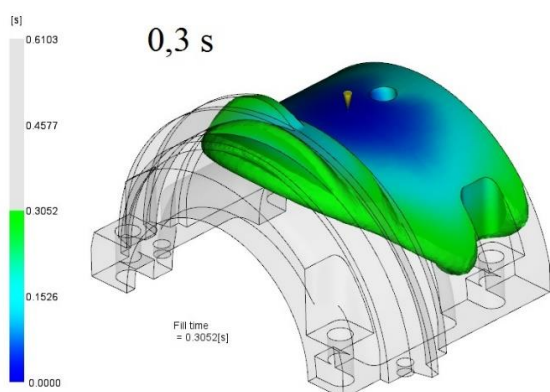
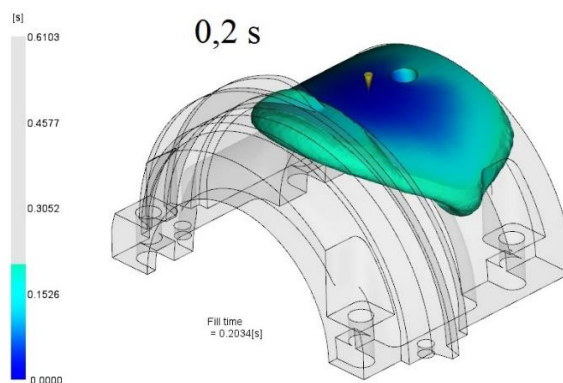
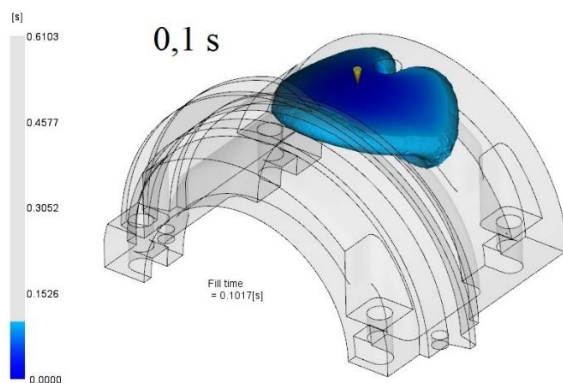
Moreover, there is a need to reduce human exposure to many materials to the lowest practical limits in view of possible adverse effects. To the extent that any hazards may have been mentioned in this publication, we neither suggest nor guarantee that such hazards are the only ones which exist. We recommend that persons intending to rely on any recommendation or to use any equipment, processing technique, or material mentioned in this publication should satisfy themselves that they can meet all applicable safety and health standards.

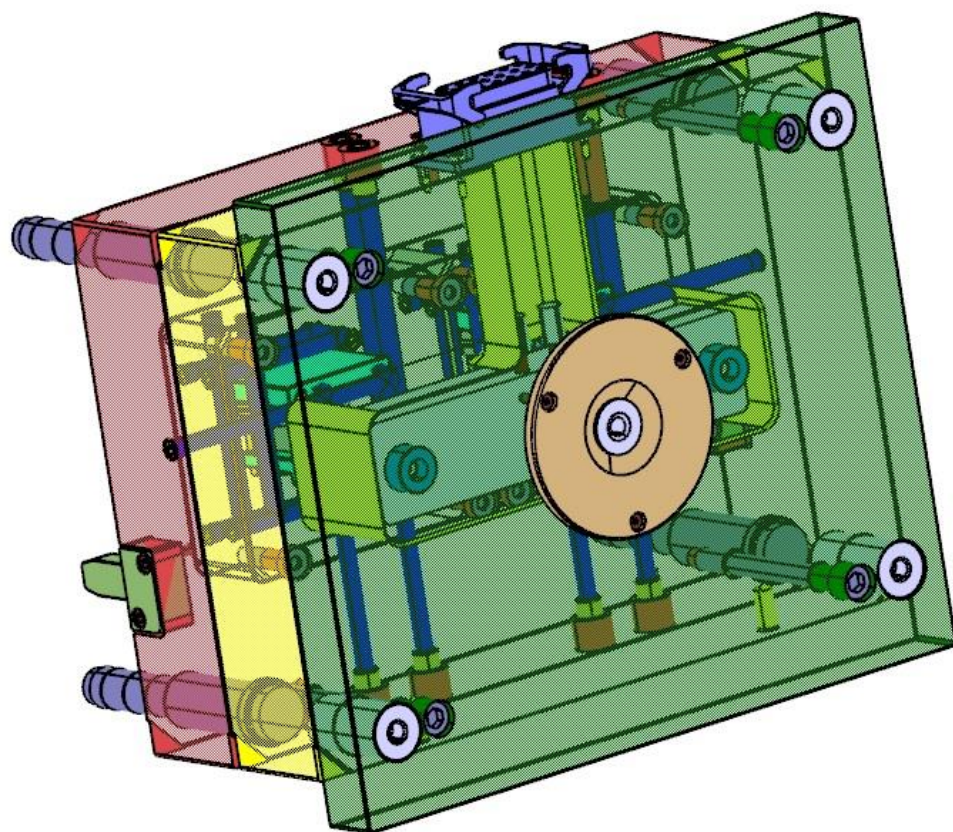
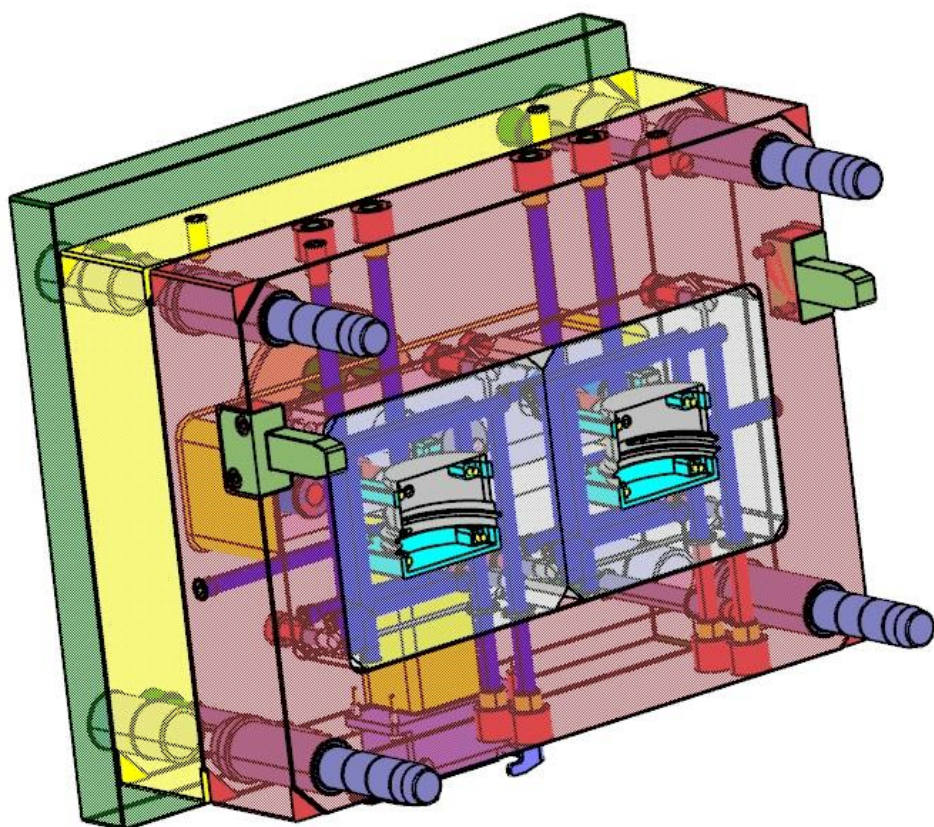
We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's current instructions for handling each material they use, and to entrust the handling of such material to adequately trained personnel only. Please call the telephone numbers listed for additional technical information. Call Customer Services for the appropriate Materials Safety Data Sheets (MSDS) before attempting to process our products.

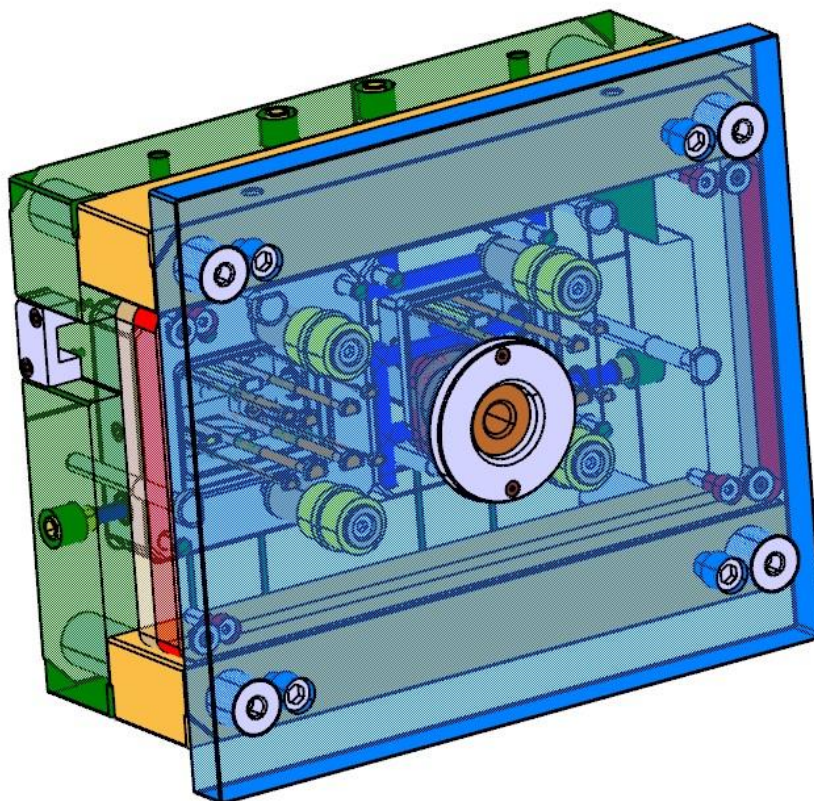
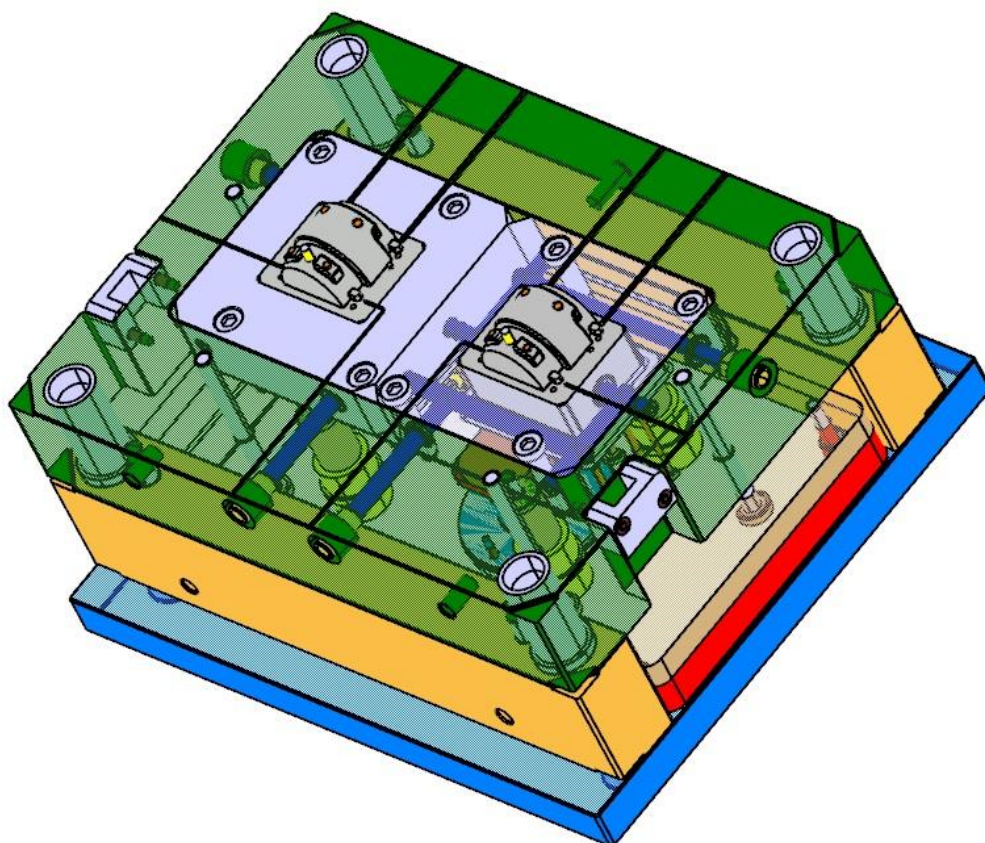
The products mentioned herein are not intended for use in medical or dental implants.

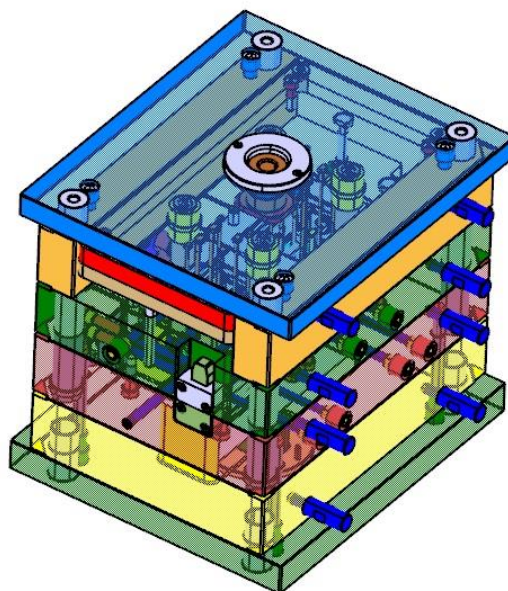
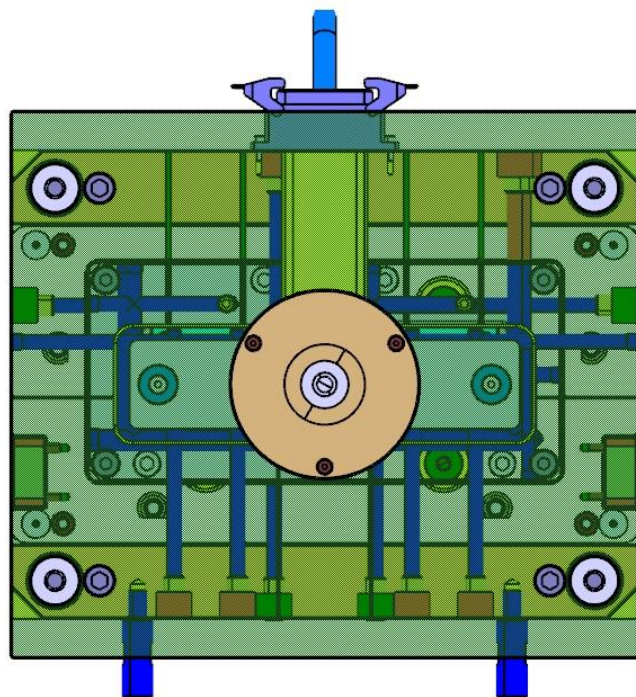
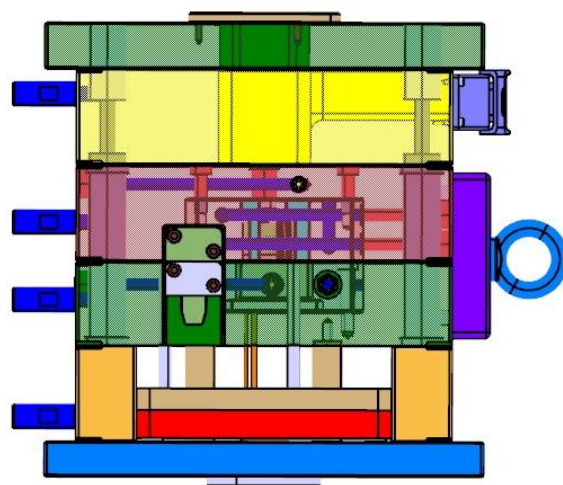
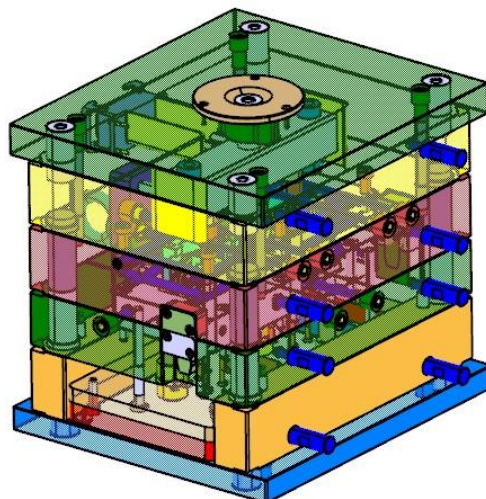
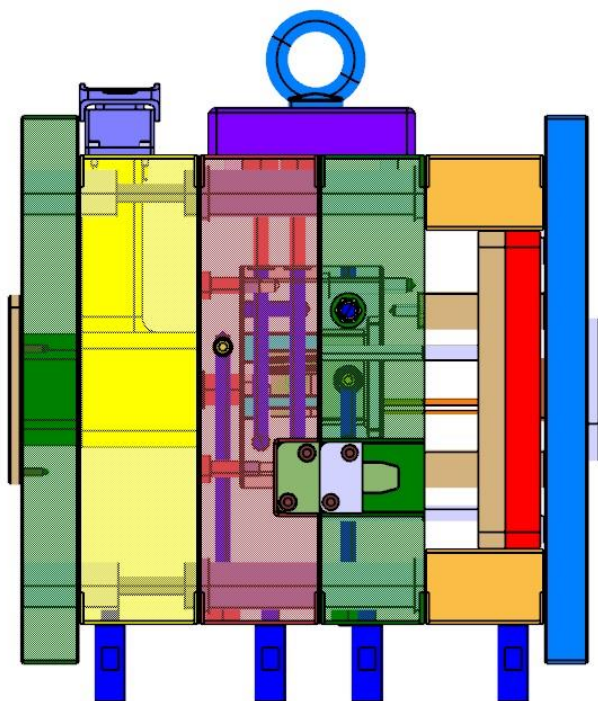
PŘÍLOHA 4 SIMULACE DOBY PLNĚNÍ DUINY FORMY

ČASY PLNĚNÍ







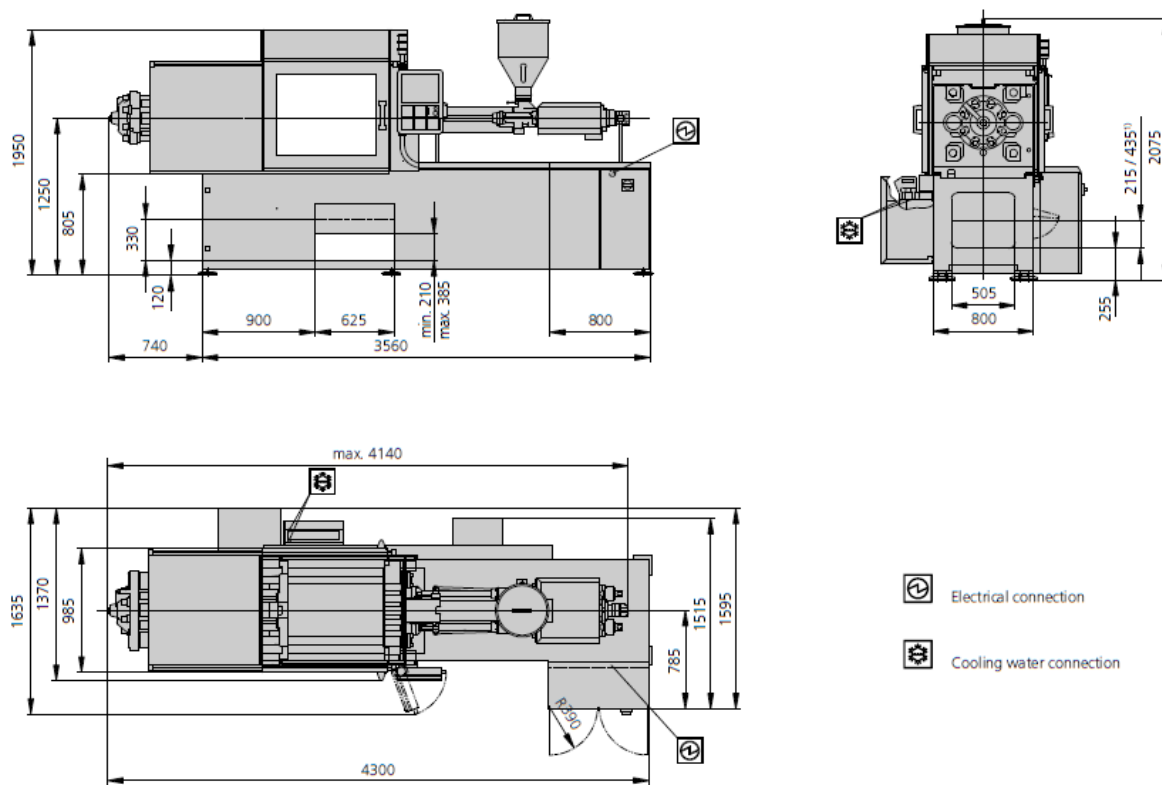


ALLROUNDER 420 C GOLDEN EDITION

Distance between tie bars: 420 x 420 mm

Clamping force: 1000 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 290



1) Conveyor belt

Technical data

420 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		420 C GOLDEN EDITION
with clamping force	max. kN	1000
Opening force stroke	max. kN mm	250 500
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---
Distance between tie bars (w x h)	mm	420 x 420
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	570 x 570
Weight of movable mould half	max. kg	600
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	1,8 - 294

Injection unit		290		
with screw diameter	mm	30	35	40
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5
Screw stroke	max. mm	150		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188
Shot weight	max. g PS	97	132	172
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530
Injection flow 2	max. cm ³ /s	102	140	182
Screw circumferential speed 2	max. m/min	46	54	62
Screw torque	max. Nm	320	380	430
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240		
Heating capacity zones	kW	6,4 5		
Feed hopper	l	50		

Drive and connection		2 pumps		
with injection unit		290		
Net weight of machine	kg	3650		
Sound press. level Insecurity 4	dB(A)	68 3		
Oil filling	l	235		
Drive power 2	max. kW	15		
Electrical connection 3	kW	24		
	Total	80		
	Machine	---		
	Heating	---		
Cooling water connection	max. °C	30		
	min. Δp bar	1,5 DN 25		

Machine type

with EUROMAP size designation 1

420 C GOLDEN EDITION 1000-290

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

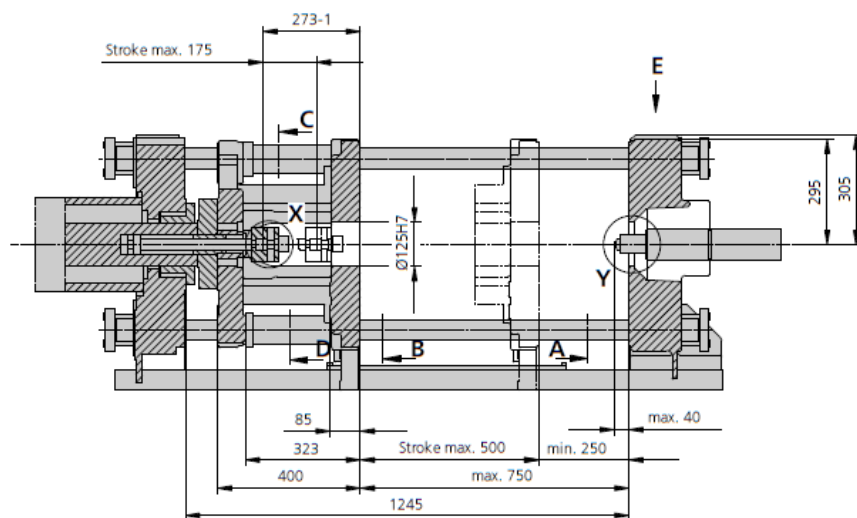
1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

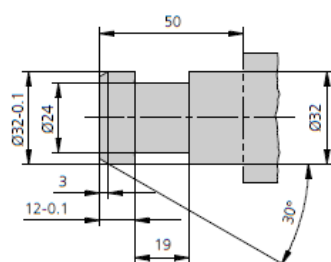
3) Specifications relate to 400 W/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

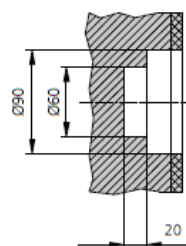
[] Specifications apply to alternative equipment.



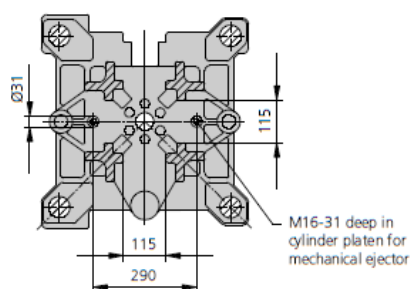
Ejector bolt | X



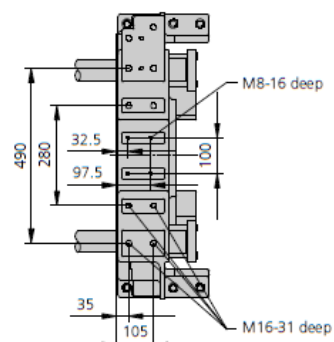
Bore in mould (if required) | Y



C-D view

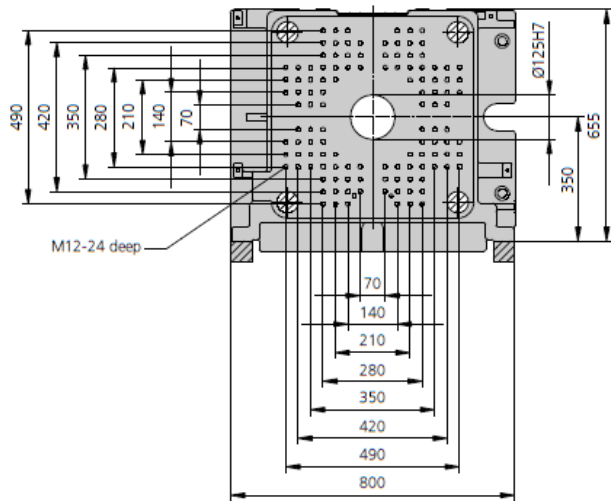


Robotic system mounting | E

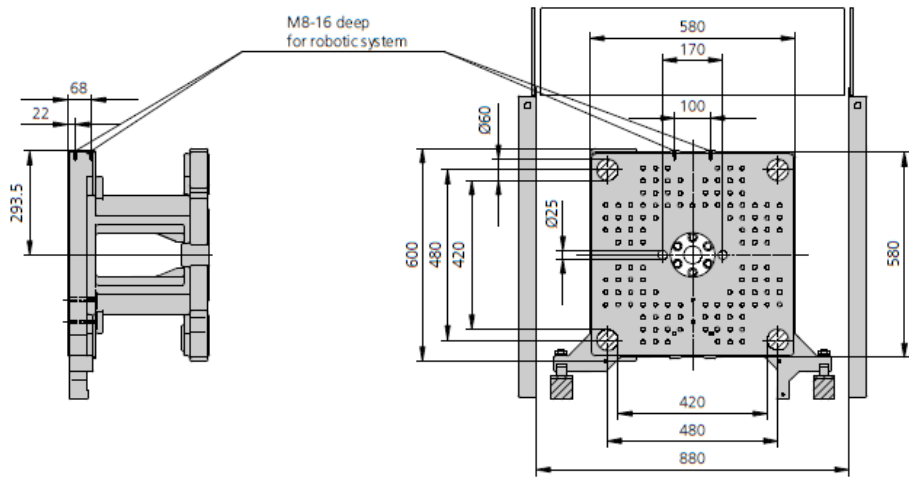


Mould installation dimensions | 420 C GOLDEN EDITION

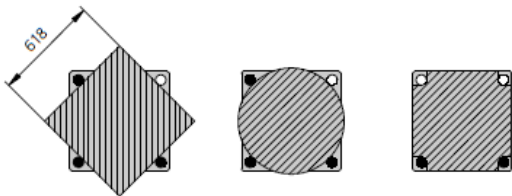
Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



Useful clamping surface when pulling the tie rods



420 C GOLDEN EDITION

Shot weights

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		290				
Screw diameter	mm	30	35	40		
Polystyrene	max. g PS	97	132	172		
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	95	129	168		
	max. g SAN, ABS ¹⁾	93	126	165		
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	109	148	194		
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	101	138	180		
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	100	136	178		
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	90	122	160		
Polycarbonate	max. g PC	102	139	181		
Polysulphone	max. g PSU	105	143	187		
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	96	131	171		
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	90	122	160		
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	120	163	213		
Polyethylene terephthalate	max. g PET	115	157	205		
Polyethylene	max. g PE-LD	73	100	130		
	max. g PE-HD	76	103	134		
Polypropylene	max. g PP	77	105	137		
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	155	211	276		
	max. g ETFE	136	185	242		
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	117	159	208		
	max. g PVC-P ¹⁾	108	147	192		

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG

Arthur-Hehl-Strasse · 72290 Lossburg · Tel.: +49 7446 33-0 · www.arburg.com · E-Mail: contact@arburg.com

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Taiwan, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to www.arburg.com.

© 2016 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified



523677_EN_GB_092016 - Subject to alterations

PŘÍLOHA 7**TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY
ŠNEKOVÉHO KOLA**

Součást		Šnekové kolo
Materiál		CELCON LW90-S2 – POM
Číslo op.	Dílna	Popis
1	Sklad	Příjem materiálu (granulátu)
2	-	Přeprava granulátu do lisovny
3	Lisovna	Příprava vstřikovací formy (transport, upnutí do stroje, připojení dodatečných systému a jejich kontrola)
4	Lisovna	Nastavení stroje, příprava materiálu a jeho sušení viz materiálový list
5	Lisovna	Zahájení vstřikování
6	Lisovna	Kontrola prvních vyrobených kusů (v případě zmetků úprava vstupních výrobních parametrů)
7	Lisovna	Spuštění sériové výroby
9	Lisovna	Průběžná vizuální kontrola náhodných kusů a chladnutí výrobku
10	Lisovna	Označení a uložení do krabic
11	OTK	Výstupní kontrola (kontrola rozměrů a stavu povrchu – četnost 10%)
12	-	Přeprava do expedičního skladu
13	Sklad	Kompletní balení a expedice